



BACHELORARBEIT

Herr
Tim Mayer

**Anwendungen der
Photogrammetrie in der
Entwicklung von Echtzeit-
Rendering Anwendungen**

2015

Fakultät: MNI

BACHELORARBEIT

Anwendungen der Photogrammetrie in der Entwicklung von Echtzeit- Rendering Anwendungen

Autor:
Herr Tim Mayer

Studiengang:
Medieninformatik und interaktives Entertainment

Seminargruppe:
Mi11w2-B

Erstprüfer:
Herr Prof. Alexander Marbach

Zweitprüfer:
Herr Daniel Stockmann

Einreichung:
Mittweida, 16.02.2015

BACHELOR THESIS

Applications of photogrammetry in the development of realtime rendering applications

author:

Mr. Tim Mayer

course of studies:

Media Informatics and interactive Entertainment

seminar group:

Mi11w2-B

first examiner:

Mr. Prof. Alexander Marbach

second examiner:

Mr. Daniel Stockmann

submission:

Mittweida, 16.02.2015

Bibliografische Angaben

Mayer, Tim:

Anwendungen der Photogrammetrie in der Entwicklung von Echtzeit-Rendering Anwendungen

Applications of photogrammetry in the development of realtime rendering applications.

133 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences,
Fakultät MNI, Bachelorarbeit, 2015

Abstract

Diese Bachelorarbeit befasst sich mit der Anwendung der Photogrammetrie in der Entwicklung von Echtzeit-Rendering Anwendungen. Die photogrammetrischen Methoden zur Erstellung eines 3D Modells für Echtzeit-Rendering Anwendung werden vorgestellt und mithilfe von praktischen Tests und quantitativen Umfragen wird eine Gegenüberstellung der traditionellen Modellierungsmethode und der photogrammetrischen herausgearbeitet, um feststellen zu können, wann es sich effektiv lohnt, photogrammetrische Methoden für die Erstellung von 3D Modellen zu verwenden. Das Ergebnis der Gegenüberstellung zeigt, dass die photogrammetrische Erstellung von 3D Modellen durch die Grenzen der Software und der notwendigen Arbeitsgeräte limitiert ist. Zudem lag der Arbeitsaufwand bei den Tests zu dieser Methode, deutlich über dem der traditionellen Modellierung. Jedoch wurde die Qualität der Modelle, die mithilfe der photogrammetrischen Methode erstellt wurden, als hochwertiger eingeschätzt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis	IV
Glossar.....	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Vorwort	IX
1 Einleitung.....	10
2 Definitionen	11
2.1 Photogrammetrie	11
2.2 Traditionelle Erstellung von 3D Modellen	11
2.3 Begriffsdefinition Echtzeit-Rendering	11
2.4 Technische Anforderungen an 3D Modelle für Echtzeit-Rendering Anwendungen	12
2.5 Photogrammetrie Software	13
3 Einblick in die Arbeits- und Funktionsweise von Photogrammetrie Software 15	
3.1 Photographische Grundlagen für die photogrammetrische Auswertung per Software.....	15
3.2 Arbeitsablauf in Agisoft Photoscan	18
3.3 Aufbereitung photogrammetrisch erstellter 3D Modelle für Echtzeit- Rendering Anwendungen	21
3.3.1 Reduzierung der Polygonanzahl durch Retopologisierung und automatische Polygonreduktion	21
3.3.2 Übertragung der Forminformationen auf das retopologisierte / reduzierte Modell	24
3.3.3 Übertragung der Texturinformationen auf das retopologisierte / reduzierte Modell	27
3.3.4 Lösungsansätze für den hohen Speicherbedarf der durch Photogrammetrie Programme erstellten Modelle.....	27
3.3.5 Erstellung von kachelbaren Texturen aus gescannten 3D Modellen	29
4 Reflexion.....	30

5	Vorstellung des praktischen Tests	31
5.1	Wahl der Testmodelle	31
5.2	Durchführung der einzelnen Testfälle	32
5.2.1	Allgemeine Vorgaben für die praktischen Tests	32
5.2.2	Testfall 1: Waldbodentextur	33
5.2.3	Testfall 2: Baumstamm mit Wurzel	35
5.2.4	Testfall 3: Walnuss	37
5.2.5	Testfall 4: Charakter-Kopf	39
6	Gegenüberstellung der Ergebnisse	42
6.1	Einsatzmöglichkeit	42
6.2	Zeitlicher Arbeitsaufwand	44
6.2.1	Arbeitsschritt 1: Akquirieren von Referenzbildern	46
6.2.2	Arbeitsschritt 2: Erstellung von hochaufgelösten Modellen	49
6.2.3	Arbeitsschritt 3: Retopologisierung des hochaufgelösten Modells	52
6.2.4	Arbeitsschritt 4: Texturierung des retopologisierten 3D Modells	55
6.2.5	Zusammenfassung	58
6.3	Qualität der Endergebnisse	59
6.3.1	Erste Seite der Umfrage: Walnussmodelle	60
6.3.2	Zweite Seite der Umfrage: Bodentexturen	63
6.3.3	Dritte Seite der Umfrage: Baumstammmodelle	70
6.3.4	Vierte Seite der Umfrage: Mehrfachverwendung der Baumstammmodelle	73
6.4	Notwendige Arbeitsgeräte	77
7	Auswertung der Gegenüberstellung	81
7.1	Ergebnisse Einsatzmöglichkeit	81
7.2	Ergebnisse Zeitaufwand	81
7.2.1	Zeitaufwand des Arbeitsschritts Akquirierung von Referenzbildern	81
7.2.2	Zeitaufwand des Arbeitsschritts Erstellung von hochaufgelösten Modellen	82
7.2.3	Zeitaufwand des Arbeitsschritts Retopologisierung des hochaufgelösten Modells	83

7.2.4	Zeitaufwand des Arbeitsschritts Texturierung des retopologisierten 3D Modells	84
7.2.5	Zusammenfassung zur Ermittlung des Zeitaufwands im praktischen Test.	84
7.3	Ergebnisse der Umfrage.....	85
7.3.1	Bewertungen der Walnussmodelle.....	85
7.3.2	Bewertungen der Bodentexturen.....	86
7.3.3	Bewertungen der Baumstammmodelle.....	87
7.4	Ergebnisse notwendige Arbeitsgeräte	89
8	Fazit.....	90
9	Ausblick.....	92
	Literaturverzeichnis	IX
	Anlagen.....	XII
	Eigenständigkeitserklärung	XLV

Abkürzungsverzeichnis

- ggf.: gegebenenfalls

Glossar

- **Displacement Mapping:** Eine Displacement Map ist eine Textur, die die Geometrie der Oberfläche eines 3D Modells verändert.¹
- **DXT1 und DXT5:** Populäre Formate zur Texturkompression vor allem im Bereich der Echtzeit-Rendering Anwendungen.
- **open source:** Software, die kostenlos nutzbar ist und ihren Quellcode frei zur Verfügung stellt wird als „open source“ bezeichnet.²
- **Raw Format:** Rohdatenformat von Digitalkameraaufnahmen. Wird allgemein auch als Negativ der Digitalphotographie bezeichnet.³
- **Retopologisierung:** Unter diesem Begriff wird in der 3D Modellierung die Rekonstruktion eines 3D Modells, mit dem Ziel die Anzahl der Flächen zu verringern und/oder eine bestimmte Topologie zu erzeugen, verstanden.
- **Tessellation:** Eine Technik die die Anzahl der Flächen eines Modells zur Laufzeit erhöht um die Auflösung des Modells zu verbessern.
- **Thin/Sparse Point Cloud:** Bezeichnung in Agisoft Photoscan für eine dreidimensionale Punktwolke mit geringer Auflösung beziehungsweise Dichte an Punkten.⁴
- **Tiff Format:** Dateiformat für Pixelgrafiken.
- **Visual SFM:** Open Source Software zur dreidimensionalen Rekonstruktion von Objekten aus Photographien.⁵
- **3D Scanning:** Die Erfassung und Übertragung existierender Objekte in eine digitale Form.

¹ Autodesk 3dsMax (Hrsg.): 3ds Max Help, 2013, in: <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/15/ENU/3ds-Max-Help/index.html?url=files/GUID-14B36287-F9FB-4D92-98D3-A95D100DA296.htm,topicNumber=d30e394176> (Zugriff am 01.02.2015)

² Sebastian Kolar: Open-Source-Software: Die besten Helfer für jeden Zweck, 21.11.2014, in: <http://www.computerbild.de/artikel/cb-Ratgeber-Kurse-Software-Open-Source-Software-3272361.html> (Zugriff am 01.02.2015)

³ Digitipps.ch (Hrsg.): Warum im RAW-Format fotografieren?, <http://www.digitipps.ch/fototechnik/raw-format-digitales-negativ.html> (Zugriff am 05.02.2015)

⁴ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, 2014

⁵ Changchang Wu: Visual SFM, <http://ccwu.me/vsfm/> (Zugriff am 12.02.2015)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 3 typische Szenarien bei der Erstellung von Photographien für die Photogrammetrie.....	17
Abbildung 2: Beispiel einer Photographiereihe, welche für die Erstellung eines 3D Modells mithilfe von Photoscan erstellt wurden	18
Abbildung 3: Screenshot aus dem Programm Photoscan, Thin Point Cloud mit ausgerichteten Photographien.....	19
Abbildung 4: Screenshot aus dem Programm Photoscan, Dense Cloud des Baumstammmodells.....	20
Abbildung 5: Hochaufgelöste Felsenmodelle.....	22
Abbildung 6: niedrig aufgelöste Felsenmodelle nach unterschiedlichen Retopoligisierungsmethoden	23
Abbildung 7: Vergleich Normal Map und Displacement Map Effekt	25
Abbildung 8: Dense Point Cloud des Nadelwaldbodens, die blauen Rechtecke repräsentieren die unterschiedlichen Kamerapositionen	34
Abbildung 9: die detaillierte Geometrie, die von Photoscan erzeugt wurde.....	35
Abbildung 10: niedrig aufgelöste Punktwolke, welche bei der Verortung der Kamerapositionen (blaue Rechtecke) berechnet wird.....	36
Abbildung 11: Geometrie des Baumstamms, die von Photoscan rekonstruiert wurde	37
Abbildung 12: Aufbau für die Aufnahmen der Walnuss.....	38
Abbildung 13: Walnussmodell mit ausgerichteten Photographien, Zusammenführung der Kameragruppen	39
Abbildung 14: Geometrie der photogrammetrischen Rekonstruktion des Kopfes	40
Abbildung 15: Texturprojektion für das Kopfmodell auf einem 3D Modell	41
Abbildung 16: Walnussmodelle	60
Abbildung 17: Notenverteilung für ästhetische Qualität der Walnüsse.....	61
Abbildung 18: Notenverteilung für Realismusempfinden der Walnüsse	62
Abbildung 19: Textur Photogrammetrische Methode	63
Abbildung 20: Textur Testperson 2.....	63
Abbildung 21: Textur Testperson 1.....	64
Abbildung 22: Textur Testperson 3.....	64
Abbildung 23: Notenverteilung für ästhetische Qualität der Bodentexturen	66
Abbildung 24: Notenverteilung für den Realismus der Bodentexturen	67
Abbildung 25: Notenverteilung für die Kachelbarkeit der Bodentexturen	69
Abbildung 26: Baumstammmodelle	70
Abbildung 27: Notenverteilung für die ästhetische Qualität des Baumstamms.....	71
Abbildung 28: Notenverteilung für den Realismus der Baumstammmodelle.....	72
Abbildung 29: Szene Baumstammmodell 1	73
Abbildung 30: Szene Baumstammmodell 2	73
Abbildung 31: Szene Baumstammmodell Photogrammetrie	74
Abbildung 32: Szene Baumstammmodell 3	74
Abbildung 33: Notenverteilung für die Mehrfachverwendung der Baumstammmodelle.....	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wahl der Testmodelle	32
Tabelle 2: Zusammenfassung der Einsatzmöglichkeiten	44
Tabelle 3: Protokoll des photogrammetrischen Tests für Referenzbild Akquirierung....	46
Tabelle 4: Übersicht des Zeitaufwands für die Akquirierung von Referenzbildern im Test zur traditionellen 3D Modellierung	47
Tabelle 5: Zusammenfassung des Zeitaufwands für die Akquirierung von Referenzbildern	48
Tabelle 6: Protokoll des photogrammetrischen Tests für die Erstellung der hochaufgelösten Modelle.....	49
Tabelle 7: Übersicht des Zeitaufwands für die Erstellung von hochaufgelösten Modellen im Test zur traditionellen 3D Modellierung	50
Tabelle 8: Zusammenfassung des Zeitaufwands für die Erstellung von hochaufgelösten Modellen	51
Tabelle 9: Protokoll des photogrammetrischen Tests zur Retopologisierung der Modelle	52
Tabelle 10: Übersicht des Zeitaufwands für die Retopologisierung im Test zur traditionellen 3D Modellierung	53
Tabelle 11: Zusammenfassung des Zeitaufwands für die Retopologisierung.....	54
Tabelle 12: Protokoll des photogrammetrischen Tests zur Texturierung der Modelle ..	55
Tabelle 13: Übersicht des Zeitaufwands für die Texturierung im Test zur traditionellen 3D Modellierung	56
Tabelle 14: Zusammenfassung des Zeitaufwands für die Texturierung	57
Tabelle 15: Zusammenfassung der Ergebnisse zum Zeitaufwand des praktischen Tests	58
Tabelle 16: Ergebnisse zur Bewertung der ästhetischen Qualität der Walnuss Modelle, in absoluten Zahlen	60
Tabelle 17: Ergebnisse zur Bewertung der ästhetischen Qualität der Walnuss Modelle, in Prozent.....	61
Tabelle 18: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Walnuss Modelle, in absoluten Zahlen.....	62
Tabelle 19: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Walnuss Modelle, in Prozent Zahlen.....	62
Tabelle 20: Ergebnisse zur Bewertung der Ästhetik der Bodentexturen, in absoluten Zahlen	65
Tabelle 21: Ergebnisse zur Bewertung der Ästhetik der Bodentexturen, in Prozent Zahlen	65
Tabelle 22: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Bodentexturen, in absoluten Zahlen.....	67
Tabelle 23: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Bodentexturen, in Prozent Zahlen.....	67
Tabelle 24: Ergebnisse zur Bewertung der Kachelbarkeit der Bodentexturen, in absoluten Zahlen.....	68
Tabelle 25: Ergebnisse zur Bewertung der Kachelbarkeit der Bodentexturen, in Prozent Zahlen	68

Tabelle 26: Ergebnisse zur Bewertung der Ästhetik der Baumstammmodelle, in absoluten Zahlen.....	70
Tabelle 27: Ergebnisse zur Bewertung der Ästhetik der Baumstammmodelle, in Prozent Zahlen.....	71
Tabelle 28: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Baumstammmodelle, in absoluten Zahlen.....	72
Tabelle 29: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Baumstammmodelle, in Prozent Zahlen	72
Tabelle 30: Ergebnisse zur Bewertung der Mehrfachverwendung der Baumstammmodelle, in absoluten Zahlen.....	75
Tabelle 31: Ergebnisse zur Bewertung der Mehrfachverwendung der Baumstammmodelle, in Prozent Zahlen	75
Tabelle 32: Übersicht der benötigten Arbeitsgeräte für den Test zur traditionellen Modellierung.....	78
Tabelle 33: Übersicht der benötigten Arbeitsgeräte für den Test zur Modellierung mit Photogrammetrie Software.....	80

Vorwort

Diese Arbeit richtet sich in erster Linie an 3D Modellierer mit einem Basiswissen im Bereich der Erstellung von 3D Modellen für Echtzeit-Rendering Anwendungen. Ich werde dennoch versuchen, den Text für Laien in diesem Gebiet so verständlich wie möglich zu gestalten und die wichtigsten Grundbegriffe und Prozesse der 3D Gestaltung für Echtzeit Grafik kurz und prägnant zu erläutern. Meine Intention ist es, mögliche photogrammetrische Anwendungen in diesem Bereich aufzuzeigen und zu erläutern. Im praktischen Teil werde ich zudem einige Beispiele der Möglichkeiten, die diese Technologie bietet, erforschen und diese mit den klassischen Herstellungsprozessen für 3D Modelle vergleichen. Ich hoffe, dass ich damit anderen 3D Modellierern einen guten Einblick in diesen Bereich geben kann und sie dazu motiviere, selber mit diesem Verfahren zu experimentieren und zu arbeiten.

1 Einleitung

Interaktive Computersimulationen sind seit ihrer Entstehung immer komplexer und realistischer geworden, was vor allem dem stetigen technischen Fortschritt und der wachsenden Nachfrage nach diesen Produkten geschuldet ist. Seit dem simplen Spiel Pong bis hin zu den Multimillionen-Dollar-Produktionen, die die heutige Videospieleindustrie hervorbringt, gab es große technische Fortschritte. Während damals nicht einmal eine Darstellung mit Farben möglich war, können wir heute bestaunen, wie eine aktuelle Grafikkarte in Echtzeit die Beleuchtung von Haut durch eine komplexe Simulation der einzelnen Hautschichten berechnet.⁶ Wir nähern uns immer weiter der Überwindung des so genannten „Uncanny Valley“, also dem absoluten Fotorealismus im Echtzeit 3D Rendering. Um dieses Ziel zu erreichen, reicht es aber nicht nur, die Technik der darstellenden Geräte und Software zu verbessern, auch die ursprünglichen Produktionsverfahren müssen verbessert oder überholt werden.⁷ In diesem Bereich gab es in den letzten Jahren eine immer breitere Adaption von Technologien zur Aufzeichnung der Realität. Es ist schon sehr lange üblich, bei der Erstellung von Texturen für Modelle auf Photographien zurückzugreifen, wenn eine realistische Grafik das Ziel der Produktion ist. Ein weiterer Schritt in dieser Technik ist das 3D Scanning⁸, allerdings waren hierfür lange Zeit teure Geräte notwendig, wodurch die Technologie nur wenigen Personen zugänglich war. Mit modernen Photogrammetrie Programmen wie Photoscan von Agisoft lassen sich jedoch sehr detailgetreue texturierte 3D Modelle aus einer Reihe von gewöhnlichen Photographien erstellen. Diese Technik ist mittlerweile ein wichtiges Instrument im Bereich der 3D Produktion für Echtzeit-Rendering geworden und ermöglicht einen zuvor unerreichten Grad an Realismus.^{9,10} Auf den folgenden Seiten wird sich diese Arbeit damit befassen, wie man mit Photogrammetrie Software arbeitet und wie die Ergebnisse für das Echtzeit-Rendering genutzt werden können. Außerdem werden die Grenzen der Technik aufgezeigt und ein Vergleich zum traditionellen Herstellungsverfahren gezogen. Hierbei wird die zentrale Frage erforscht, in welchen Fällen die photogrammetrische Verfahrensweise effektiver ist als die traditionelle 3D Modellierung.

⁶ Video Game Invasion: The History of a Global Obsession (USA 2004, David Carr und David Comtois, Fernsehfilm)

⁷ Angela, Tinwell: The Uncanny Valley in Games and Animation , 2015

⁸ Siehe Glossar

⁹ Richard Whitelock: We have a world to scan, 07.02.2014, <http://blog.richard-whitelock.com/post/75906279337/we-have-a-world-to-scan>

¹⁰ Dan Ablan: Digital Photography for 3D Imaging and Animation, Indianapolis USA 2015

2 Definitionen

Um ein einheitliches Verständnis über die grundlegenden Begriffe und Verfahren dieser Arbeit zu gewinnen, werden diese im folgenden Abschnitt genauer definiert.

2.1 Photogrammetrie

Photogrammetrie bezeichnet eine Reihe von Messmethoden, mit denen sich Objekte anhand von Photographien exakt vermessen lassen. Dabei unterscheidet man zwischen terrestrischer Photogrammetrie, bei der die Photographien von einem Standort vom Boden aus aufgenommen werden, und Aerophotogrammetrie, welche zur Landvermessung anhand von Luftbildern eingesetzt wird. Der deutsche Architekt Meydenbauer gilt als Namensgeber für diese Technik, welche er in seinem Werk zum photogrammetrischen Verfahren zur Gebäudevermessung im 19. Jahrhundert entwickelte.¹¹ Durch moderne Software Lösungen, die in der Lage sind, die photogrammetrischen Messmethoden vollkommen automatisch auszuführen, ist diese Technik mittlerweile auch für andere Branchen interessant und zugänglich geworden.¹²¹³

2.2 Traditionelle Erstellung von 3D Modellen

Die traditionelle Erstellung von 3D Modellen wird in dieser Arbeit analog zur photogrammetrischen Arbeitsweise definiert. Dieser Begriff umfasst damit alle bisherigen Arbeitsweisen zur 3D Modellierung, welche die Erstellung eines hochaufgelösten 3D Modells und dessen weitere Verarbeitung zu einem niedrig aufgelösten Modell beinhaltet.

2.3 Begriffsdefinition Echtzeit-Rendering

Echtzeit-Rendering oder englisch Real-Time Rendering ist ein Begriff der Computergrafik, unter dem man die bewegte Darstellung von computergenerierter Grafik wie in einer Simulation oder einem Videospiel versteht.

„Real-time rendering is concerned with making images rapidly on the computer. It is the most highly interactive area of computer graphics. An image appears on the screen, the viewer acts or reacts, and this feedback affects what is generated next. This cycle of

¹¹ Donath, Dirk: Bauaufnahme und Planung im Bestand. Grundlagen – Verfahren – Darstellung – Beispiele, Wiesbaden 2008

¹² Richard Whitelock: We have a world to scan, 07.02.2014, <http://blog.richard-whitelock.com/post/75906279337/we-have-a-world-to-scan>

¹³ Dan Ablan: Digital Photography for 3D Imaging and Animation, Indianapolis USA 2015

reaction and rendering happens at a rapid enough rate that the viewer does not see individual images but rather becomes immersed in a dynamic process.”¹⁴

2.4 Technische Anforderungen an 3D Modelle für Echtzeit-Rendering Anwendungen

Um die Verfahrensmethoden der Erstellung von 3D Modellen für Echtzeit-Rendering Anwendungen analysieren zu können, werden 3D Modelle in dieser Arbeit als polygonale Modelle mit weniger als 50.000 Dreiecksflächen, einer Diffuse Textur und einer Normal Textur definiert. Bei der Definition der technischen Anforderungen wird sich dabei an Werten von aktuellen Echtzeit-Rendering Anwendungen, wie der Videospielengine Unreal Engine 4, und deren 3D Modell Anforderungen orientiert. Oftmals werden für die 3D Modelle noch weitere Texturen angefertigt, die die Reflektionseigenschaften und den Glanz bestimmen, allerdings sind diese Modellinformationen für diese Arbeit nicht relevant und werden nicht weiter beleuchtet.

Der Grund, wieso die technischen Anforderungen an ein 3D Modell für eine Echtzeit-Rendering Anwendung so wichtig sind, liegt darin, dass diese mindestens 24 Bilder pro Sekunde berechnen und in Echtzeit darstellen. Die Optimierung der Modelle, um ein performantes Ergebnis zu erhalten, spielt daher eine große Rolle. Bei polygonalen Modellen gibt es zwei besonders wichtige Kennzahlen, die Anzahl der Dreiecksflächen, beziehungsweise der Eckpunkte des Modells, und der Speicherbedarf der Texturen. Dabei sind diese Kennzahlen je nach Verwendungszweck in der Echtzeit-Rendering Anwendung unterschiedlich zu bewerten. Handelt es sich bei dem Modell um einen komplett animierten Charakter, dann fällt die Anzahl der Eckpunkte deutlicher ins Gewicht als bei einem statischen Modell wie einem Fels. Zudem spielt die Anzahl, wie oft ein Modell gleichzeitig auf dem Bildschirm zu sehen sein wird, eine große Rolle. In einer solchen Situation multipliziert sich die Anzahl der Dreiecksflächen effektiv mit der Anzahl der Modelle und Optimierungen am Original Modell zahlen sich dadurch umso mehr aus. ¹⁵

Um den Speicherbedarf für Texturen zu optimieren, gibt es viele Ansätze, die sich vor allem auf die unterschiedlichen Kompressionsmethoden konzentrieren. Allerdings ist auch die Auflösung der Textur ein entscheidender Faktor. Dabei ist es vor allem für den 3D Artist wichtig, zu beachten wie viel Pixelfläche das Modell im Endprodukt auf dem Bildschirm maximal einnehmen wird. Wenn das Modell zum Beispiel mit nur 40.000 Pixeln auf dem Bildschirm repräsentiert wird, aber die Textur des Modells mit ca. 4 Millionen Pixel (entspricht etwa einer Auflösung von 2048x2048 Pixel) aufgelöst ist, dann ist

¹⁴ Akenine-Möller Tomas, Haines Eric, Hoffman Naty : Real-Time Rendering Third Edition, USA 25.7.2008

¹⁵ Akenine-Möller Tomas, Haines Eric, Hoffman Naty : Real-Time Rendering Third Edition, USA 25.7.2008

es möglich, die Auflösung der Textur zu reduzieren, ohne die Bildqualität dadurch zu verschlechtern.

Es lässt sich also zusammenfassen, dass 3D Modelle für Echtzeit-Rendering Anwendungen vor allem ressourcenschonend sein müssen, damit es möglich ist, mit diesen Anwendungen mindestens 24 Bilder pro Sekunde, beziehungsweise besser 60 Bilder pro Sekunde oder mehr, zu berechnen.

2.5 Photogrammetrie Software

Der derzeitige Markt bietet eine große Anzahl unterschiedlicher Programme, die zur photogrammetrischen Rekonstruktion von 3D Objekten genutzt werden können, darunter auch einige open source¹⁶ Lösungen wie Visual SFM¹⁷. Durch eine umfassende Recherche lässt sich allerdings schnell herausstellen, dass Agisoft Photoscan von führenden Unternehmen in der interaktiven Unterhaltungsbranche genutzt wird.

„The Astronauts uses Agisoft PhotoScan, which Poznanski describes as “the best one out there”¹⁸

“To generate a model from a Photograph, we used Photoscan by Agisoft.”¹⁹

“I recommend Agisoft Photoscan over any other software, it's far superior.”²⁰

Auch das Computerspiel „Get Even“ des polnischen Entwicklerstudios „Farm 51“, welches vor allem durch seine photorealistische Grafik mit 3D Scans für Aufsehen sorgte, nutzt neben traditionellen 3D Laser Scans eine modifizierte Version von Agisoft Photoscan.²¹

Aufgrund dieser Expertenmeinungen wird in dieser Arbeit die photogrammetrische Arbeitsweise zu Erstellung von 3D Modellen exemplarisch anhand Agisoft Photoscan erörtert. Bei den Nachforschungen zu dieser Arbeit konnte kein Hinweis darauf gefunden

¹⁶ Siehe Glossar

¹⁷ Siehe Glossar

¹⁸ Edge Online (Hrsg.): Lens flair. The Astronauts on why photogrammetry could revolutionise game making for small teams, 24.02.2014, <http://www.edge-online.com/news/lens-flair-the-astronauts-on-why-photogrammetry-could-revolutionise-game-making-for-small-teams/#null> (Zugriff am 02.01.2015)

¹⁹ Kojima Productions: GDC 2013 (Full Presentation), Zeitabschnitt 28:24- 28:29. Video bei Youtube veröffentlicht am 28.03.2013, <https://www.youtube.com/watch?v=QZFR4H4LORU> (Zugriff am 02.01.2015)

²⁰ Lee Perry: Scanning with IR, in Infinite Realities Blog, 16.08.2013, <http://ir-ltd.net/scanning-with-ir/> (Zugriff am 15.01.2015)

²¹ Dan Crawley: Get Even keeps you guessing who's human and who's A.I. in its ultrarealistic scanned environments, in Venture Beat, 20.11.2014, <http://venturebeat.com/2014/11/20/get-even/> (Zugriff am 05.01.2015)

werden, dass in der Branche des Echtzeit-Renderings andere Programme verwendet werden, um photogrammetrische Rekonstruktionen durchzuführen.

3 Einblick in die Arbeits- und Funktionsweise von Photogrammetrie Software

Nachdem ein grundlegendes Verständnis des Photogrammetriebegriffs und der Einsatz in Echtzeit-Rendering Anwendungen dargestellt wurde sowie die Wahl der Kernsoftware dieser Arbeit begründet ist, wird im Folgenden ein Einblick in die Arbeits- und Funktionsweise von Photogrammetrie Software gegeben.

Dabei wird die Erstellung von 3D Modellen aus Photographien grob in die drei zeitlich aufeinander folgenden Arbeitsschritte „Photografische Grundlagen für die photogrammetrische Auswertung per Software“, „Arbeitsablauf in Agisoft Photoscan“ und „Aufbereitung photogrammetrisch erstellter 3D Modelle für Echtzeit-Rendering Anwendungen“ eingeteilt. Der beschriebene Arbeitsablauf ist zwar für die Software Photoscan von Agisoft optimiert, ist aber dennoch weitestgehend allgemeingültig auf andere Photogrammetrie Software übertragbar, da die grundlegenden Arbeitsweisen ähnlich sind.

3.1 Fotografische Grundlagen für die photogrammetrische Auswertung per Software

Zu Beginn der Nutzung von photogrammetrischen Methoden für die Erstellung von 3D Modellen müssen die Photographien, welche die Software verarbeiten soll, erstellt werden. Die Photographie mit dem Verwendungszweck zur Auswertung in einem Photogrammetrie Programm unterscheidet sich dabei maßgeblich von der klassischen Photographie, welche in der Regel das Ziel hat, ein für das menschliche Auge möglichst ansprechendes Bild zu entwickeln.

Für die photogrammetrischen Berechnungen in der Software ist es von besonderer Bedeutung, dass das zu vermessende Objekt möglichst scharf und in einer möglichst hohen Auflösung aufgenommen wird. Außerdem ist es wichtig, dass starke Beleuchtungsunterschiede vermieden werden. Daher ist es bei Außenaufnahmen vorteilhaft, wenn keine direkte Sonneneinstrahlung vorhanden ist, und bei Aufnahmen im Innenraum sollte auf eine gleichmäßige Ausleuchtung des zu erfassenden Objektes geachtet werden. Zudem ist es wichtig, dass die Photographie nicht über- oder unterbelichtet ist, was sich leicht mit einem Histogramm überprüfen lässt. Da Photogrammetrie Software eine größere Anzahl an Bildern vom selben Objekt vergleichen und Gemeinsamkeiten finden muss, ist es ebenfalls von großer Bedeutung, dass sämtliche Bilder einer Reihe gleichmäßig scharf und belichtet sind. Hierbei ist es ratsam, die Kameraeinstellungen während einer Aufnahmereihe nicht zu verändern und auf Automatik Modi der Kamera zu verzichten.

ten. In den Versuchsfällen im empirischen Teil dieser Arbeit wurde außerdem die automatische Beleuchtungskorrektur von Adobe Lightroom benutzt, um die Belichtung der unterschiedlichen Bilder so homogen wie möglich zu machen. Bei der Wahl der Kamera ist vor allem zu beachten, dass man eine Digitalkamera mit 5 Megapixeln oder mehr verwendet, außerdem ist von dem Gebrauch von Weitwinkel-Objektiven laut dem Handbuch von Agisoft Photoscan abzuraten.²²²³

Je nach Größe des zu erfassenden Objektes gibt es unterschiedliche Herangehensweisen, die photographischen Aufnahmen zu erstellen. Wichtig dabei ist vor allem, dass das Objekt den größtmöglichen Bereich des Bildes einnimmt und dass die verschiedenen Bilder untereinander Überlappungen haben, so dass die Software Gemeinsamkeiten erkennen kann. Die Illustrationen in Abbildung 1 aus dem Handbuch zu Photoscan zeigen drei typische Szenarien und die beste Vorgehensweise dazu. ²⁴

Das oberste Szenario verdeutlicht die Art und Weise, einen kompletten Raum photogrammetrisch zu erfassen. Die Bilder sollten hierbei in einem fortlaufenden Fluss aufgenommen werden und möglichst jede Perspektive und Ecke eines Raumes einfangen. Dabei sollte sich der Photograph für jedes einzelne Foto möglichst weit entfernt von der photographierten Wand aufstellen, um möglichst viel vom dem Raum pro Foto zu erfassen.

In dem mittleren Szenario wird dargestellt, wie bei der Erstellung von Photographien für die photogrammetrische Verarbeitung bei einem einzelnen Objekt vorgegangen werden sollte. In diesem Fall werden möglichst viele Fotos von allen Perspektiven um das Objekt herum geschossen.

Die untersten Abbildungen erläutern das Szenario einer Erfassung einer geraden Wand oder Fassade. In diesem Fall müssen die Fotos parallel zum flachen Objekt aufgenommen werden. Dies kann auf die Erstellung von photogrammetrischen Erfassungen von Böden übertragen werden.

²² Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, 2014

²³ Brandon Blizzard: The Art of Photogrammetry: How To Take Your Photos, in Tested, 19.02.2014, <http://www.tested.com/art/makers/460142-art-photogrammetry-how-take-your-photos/> (Zugriff am 10.01.2015)

²⁴ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, 2014

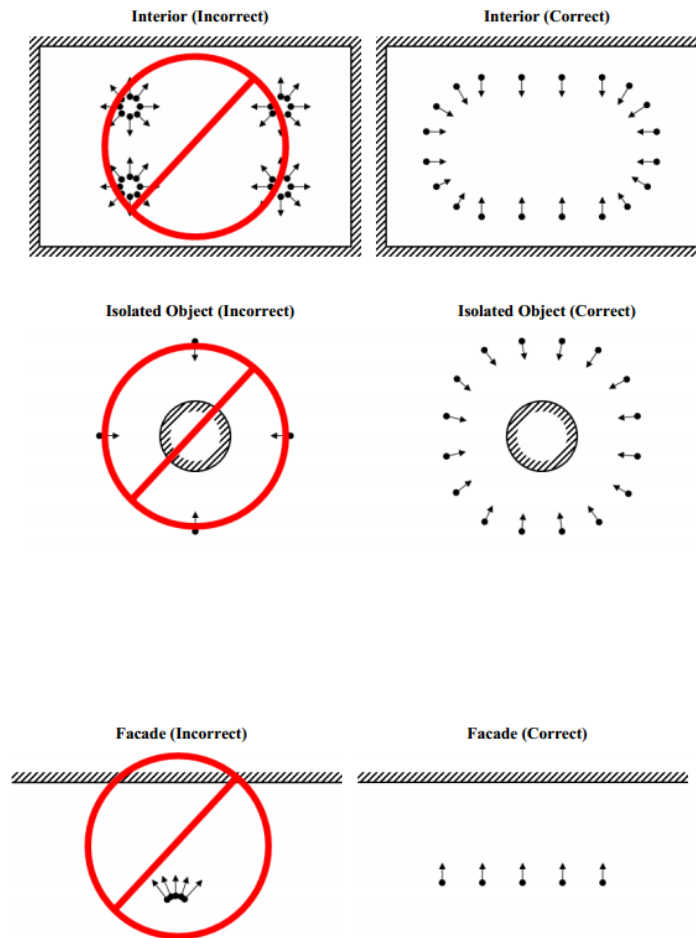


Abbildung 1: 3 typische Szenarien bei der Erstellung von Photographien für die Photogrammetrie.²⁵

²⁵ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, 2014

3.2 Arbeitsablauf in Agisoft Photoscan

Nachdem für das Objekt die erforderlichen Photographien erstellt wurden, ist der nächste Schritt zur Erstellung eines 3D Modells in Photoscan, alle Aufnahmen des zu erfassenden Objektes in das Programm zu importieren. Das Handbuch der Software rät hierbei, die Aufnahmen mit der Kamera im Raw Format²⁶ zu speichern und diese dann für den Import in Photoscan in das Tiff Format²⁷ zu konvertieren. Beim Import der Aufnahmen nimmt Agisoft eine automatische Objektivkorrektur der Bilder vor, um die perspektivische Verzerrung der Bilder auszugleichen.

Abbildung 2 zeigt eine Reihe an Photographien, die für diese Arbeit angefertigt wurden, um mit diesen ein 3D Modell mit Photoscann zu erstellen. Hierbei wurde, wie im mittleren Szenario aus Abbildung 1, ein einzelnes Objekt rund herum photographiert, um es aus allen Perspektiven einzufangen.

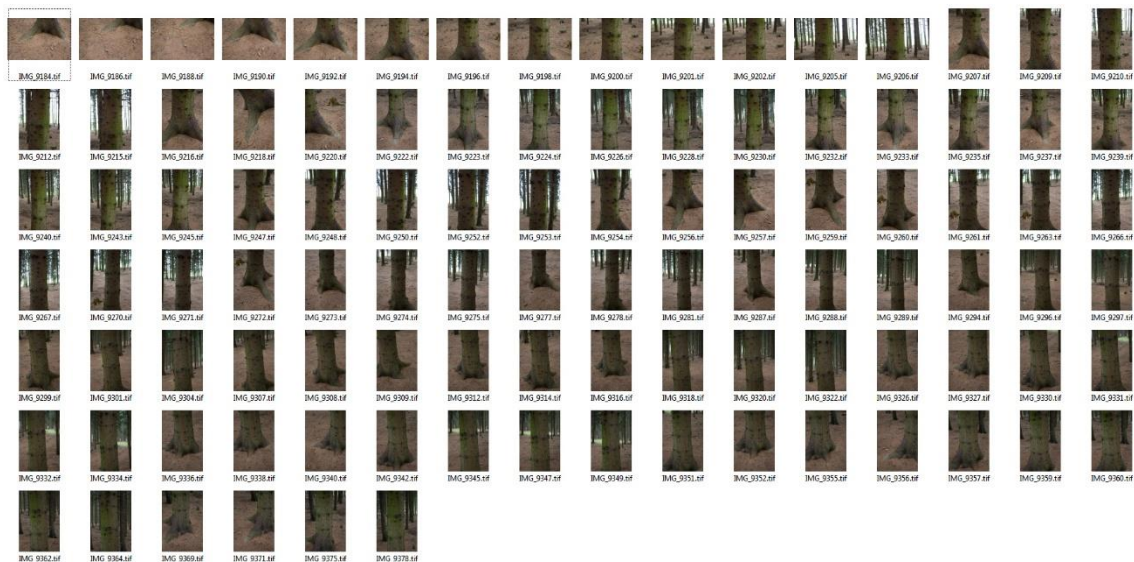


Abbildung 2: Beispiel einer Photographiereihe, welche für die Erstellung eines 3D Modells mithilfe von Photoscan erstellt wurden

Nach dem Import der Photographien in die Software ist der nächste Schritt, die Aufnahmestandorte der unterschiedlichen Bilder zu ermitteln. Dazu bietet Photoscan die Option „Align Photos“, welche automatisch die Standorte und Ausrichtungen der einzelnen Photographien ermittelt. Der Nutzer kann bei diesem Schritt angeben, mit welcher Genauigkeit die automatische Berechnung vorgehen soll. Außerdem kann ein Grenzwert für die Anzahl an einzigartigen Merkmalen und die Anzahl an gemeinsamen Punkten zwischen den Bildern gesetzt werden. Ist dieser Vorgang erfolgreich, erstellt Photoscan eine Thin

²⁶ Siehe Glossar

²⁷ Siehe Glossar

Point Cloud²⁸ aus den anhand der Photographien ermittelten gemeinsamen Punkten. Mit dieser Punktwolke kann man abschätzen, wie gut das zu rekonstruierende Objekt erfasst wurde. Zudem ist es an dieser Stelle bereits möglich, erste Korrekturen an der Thin Point Cloud durchzuführen und Bereiche, die nicht zum Objekt gehören, von den weiteren Berechnungen auszunehmen.²⁹

Abbildung 3 zeigt die Thin Point Cloud eines Baumstammmodells, sowie in blau die Ausrichtung der Photographien, die das Programm für die Generierung der Thin Point Cloud verwendet hat.

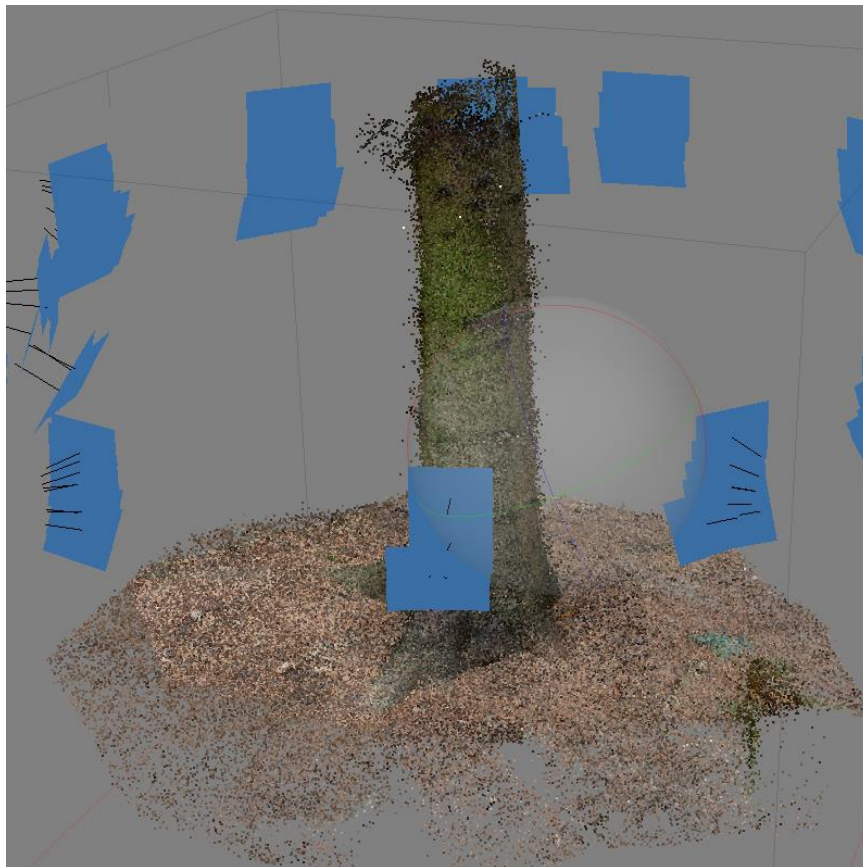


Abbildung 3: Screenshot aus dem Programm Photoscan, Thin Point Cloud mit ausgerichteten Photographien

Nachdem die Thin Point Cloud durch den Nutzer überprüft und ggf.³⁰ optimiert wurde, folgt die Berechnung der Dense Point Cloud³¹, die eine besonders hoch aufgelöste Repräsentation des 3D Modells darstellt. Das Programm bietet hierbei dem Nutzer die Auswahl eines Parameters für die Tiefenfilterung, welcher die Erhaltung von kleinen Details

²⁸ Siehe Glossar

²⁹ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, 2014

³⁰ Siehe Glossar

³¹ Siehe Glossar

bei der Berechnung bestimmt, und die Wahl einer Qualitätseinstellung für diesen Prozess. Der vorletzte Schritt in Photoscan ist es, nun aus der Dense Point Cloud ein texturiertes Modell aus Polygonen zu erstellen. Dazu startet man die entsprechende Programmfunktion und wählt dann die Art der Oberfläche, die Quelldaten und die gewünschte Polygonanzahl aus. Ist das 3D Modell erstellt, kann man dafür mit der Funktion Build Texture automatisch eine UV Map und eine Textur erstellen. Dazu bietet das Programm eine Fülle von Einstellungsmöglichkeiten, welche im Handbuch der Software genauer erklärt werden.³²

Abbildung 4 zeigt die Dense Point Cloud, die nach der Thin Point Cloud in Abbildung 3 generierte wurde. In diesem Fall besitzt die Dense Point Cloud ca. 5,5 Millionen Points, diese sieht dem daraus zu generierenden polygonalen Modell optisch sehr ähnlich.



Abbildung 4: Screenshot aus dem Programm Photoscan, Dense Cloud des Baumstammmodells

Photoscan bietet allerdings noch weitere Funktionen wie das Aufnehmen in 4D, also mit einer Zeitkomponente, welche dann über eine klassische Timeline ähnlich wie ein Film

³² Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, Veröffentlichungsdatum: 2014

betrachtet werden kann. Diese Funktion ist vor allem für die Erstellung von Gesichtsanimationen für Charaktere in Echtzeit-Rendering Anwendungen interessant.³³

Zudem bietet die Software auch Möglichkeiten, die dreidimensionalen Daten exakt zu vermessen, und ist somit auch für Anwendungen in der Geodäsie, Archäologie oder Architektur geeignet. Da viele Bereiche der Software für die Erstellung von 3D Modellen für Echtzeit Simulationen nicht von Bedeutung sind, wird in dieser Arbeit auf eine genauere Erläuterung verzichtet.³⁴

3.3 Aufbereitung photogrammetrisch erstellter 3D Modelle für Echtzeit-Rendering Anwendungen

Das Ergebnis des photogrammetrischen Verfahrens liefert nach dem Verwenden der Photogrammetrie Software ein hochaufgelöstes Modell mit einer Albedo Textur. Um die photogrammetrisch erzeugten Modelle an die oben definierten Anforderungen des Echtzeit-Renderings anzupassen, sind hingegen noch einige Schritte nötig. Der folgende Abschnitt befasst sich mit diesen notwendigen Arbeitsabläufen und Methoden, um einen performanten Einsatz des Modells in Echtzeit-Rendering Anwendungen zu garantieren.

3.3.1 Reduzierung der Polygonanzahl durch Retopologisierung und automatische Polygonreduktion

Eines der Hauptprobleme, die es bei photogrammetrisch erzeugten Modellen gibt, ist die für Echtzeit-Rendering Anwendungen hohe Anzahl der Dreiecksflächen und die unregelmäßige Topologie. Das Problem der hohen Auflösung ist allerdings auch im Bereich der traditionellen 3D Modellierung vorhanden, denn auch hier werden die 3D Modelle mit Millionen an Dreiecksflächen gefertigt.

³³ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, 2014

³⁴ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, 2014

Abbildung 5 zeigt zwei solcher hochaufgelösten Modelle. Diese wurden mit traditionellen Modellierungsmethoden erstellt.

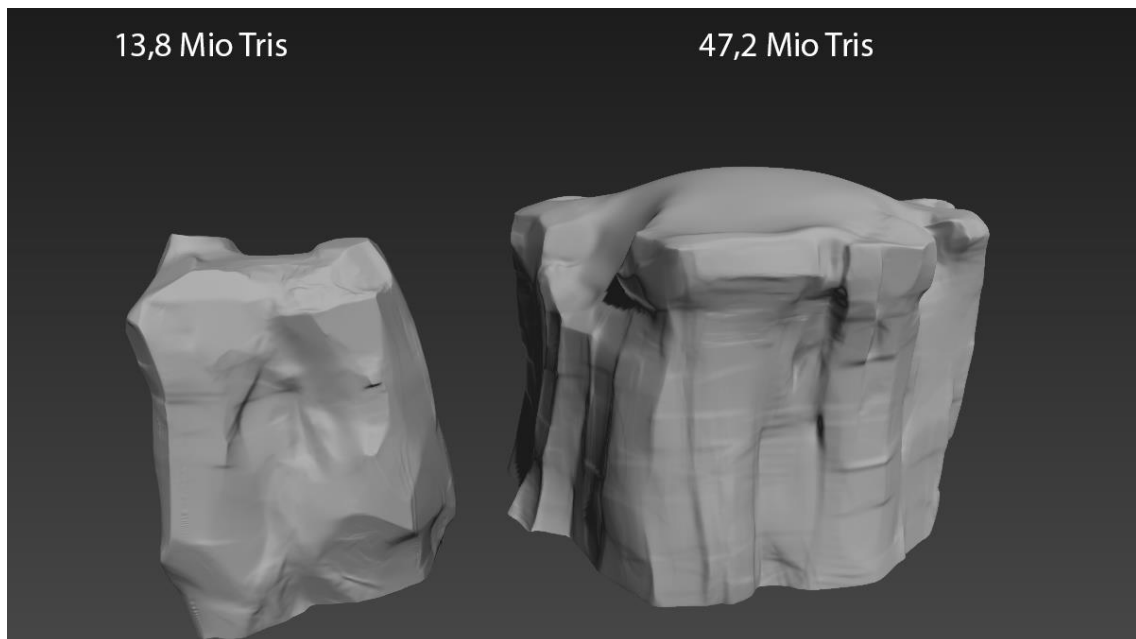


Abbildung 5: Hochaufgelöste Felsenmodelle

Zudem kann auch bei der manuellen Erstellung eine heterogene Topologie entstehen, zum Beispiel durch starke Deformationen oder den Einsatz von dynamischer Topologie, wie sie oft in Sculpting Programmen genutzt wird. Dennoch ist es möglich, eine homogene Topologie bei manuell erstellten und hoch aufgelösten Modellen zu erhalten, wohingegen dies in einem Photogrammetrie Programm durch die automatische Erstellung nicht steuerbar ist.

Um 3D Modelle mit mehreren Millionen Dreiecksflächen zu vereinfachen und damit für Echtzeit-Rendering nutzbar zu machen, gibt es unterschiedliche Ansätze. Eine davon ist die manuelle Retopologisierung³⁵, bei der in einem Programm für 3D Modellierung das Modell manuell nach-modelliert wird, wobei die meisten Programme in diesem Bereich spezielle Werkzeuge bieten, die es ermöglichen, das hochaufgelöste Modell als Vorlage zu verwenden und damit die exakte Arbeitsweise vereinfachen. Der andere Ansatz ist, die Verringerung der Flächenanzahl automatisch von einem Programm vornehmen zu lassen.

³⁵ Siehe Glossar

Abbildung 6 zeigt die retopologisierten 3D Modelle aus Abbildung 5. Das linke Modell wurde hierbei mit einer automatischen Methode retopologisiert und das rechte Modell mit einem manuellen Verfahren. Deutlich ist zu erkennen, dass die manuelle Methode hierbei ein noch geringer aufgelöstes und geordnetes Modell ergibt.

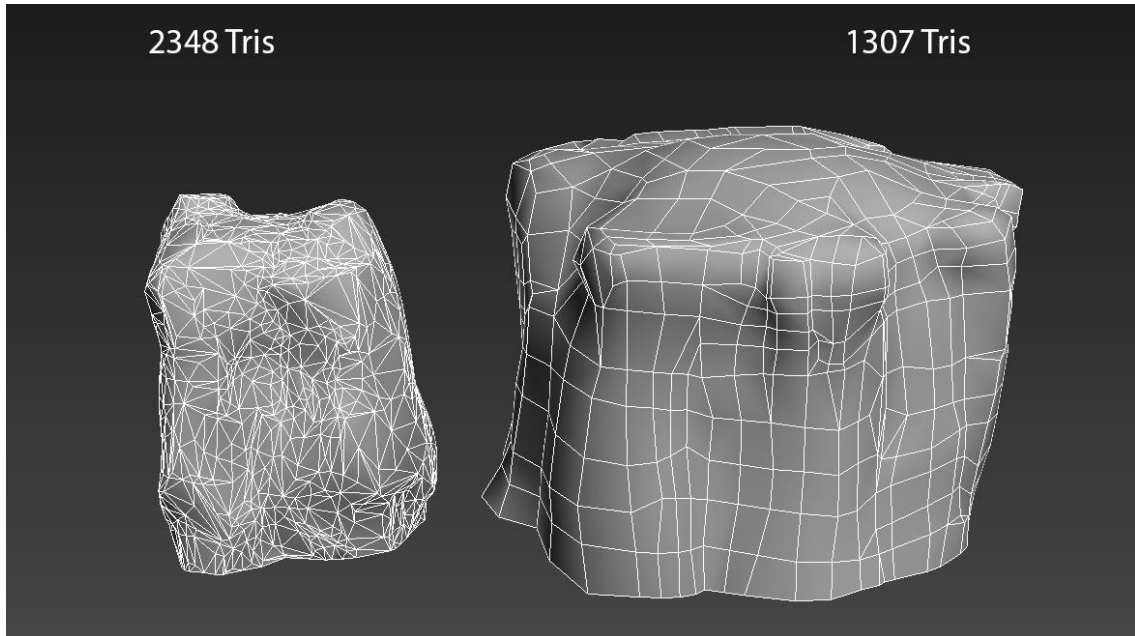


Abbildung 6: niedrig aufgelöste Felsenmodelle nach unterschiedlichen Retopologisierungsmethoden

Bei der Frage, ob eine manuelle oder automatische Retopologisierungsmethode verwendet werden soll, muss vor allem der Verwendungszweck des Modells in der Engine bedacht werden. Automatisch reduzierte Modelle haben in der Regel eine sehr ungleichmäßige Topologie und eine höhere Dreiecksanzahl bei gleichem Detailgrad wie manuell erstellte Retopologien. Da ein animiertes Charakter Modell kritische Anforderungen an die Topologie des Modells stellt, um die Deformationen der Animationen bestmöglich zu unterstützen, ist es in einem solchen Fall besser, die Retopologie nicht automatisch durchzuführen. Zudem profitieren manche Shader Techniken wie Tessellation³⁶ und Displacement Mapping³⁷ von einer homogenen Modelltopologie.³⁸

³⁶ Siehe Glossar

³⁷ Siehe Glossar

³⁸ Flipped Normals (Hrsg.): ZBrush to modo – 32 bit Displacement, 2015, <http://flippednormals.com/tutorial/zbrush-modo-32-bit-displacement-2/> (Zugriff am 20.01.2015)

3.3.2 Übertragung der Forminformationen auf das retopologisierte / reduzierte Modell

Nachdem ein mit Photogrammetrie Programmen erstelltes Modell retopologisiert und eine UV Map dafür erstellt wurde, ist der nächste Schritt, die Details des hochaufgelösten Original Modells auf das retopologisierte Modell zu übertragen. Für diese Aufgabe gibt es eine Vielzahl an geeigneten Programmen. Ein viel beachtetes und zudem kostenloses Programm ist Xnormal, welches auch im praktischen Teil verwendet wird. Das Programm berechnet Strahlen, die von der Oberfläche des niedrig aufgelösten Modells ausgesendet werden und auf der Oberfläche des hochaufgelösten Modells auftreffen. Daraufhin kann die Software dann die Details des hochaufgelösten Modells, auf das niedrig aufgelöste übertragen.³⁹ Für die Speicherung von Forminformationen würden sich viele Formate eignen, allerdings werden Normal- und Heightmaps von Echtzeit-Rendering Anwendung am häufigsten verwendet. Daher wird diese Arbeit sich vor allem auf diese beiden Typen konzentrieren.

³⁹Autodesk Inc. (Hrsg): Render to Texture, in Autodesk Knowledge Network, 6.12.2014, <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-76F1E8AE-9E8F-40A7-A948-471D17E09DA9-htm.html> (Zugriff am 01.02.2015)

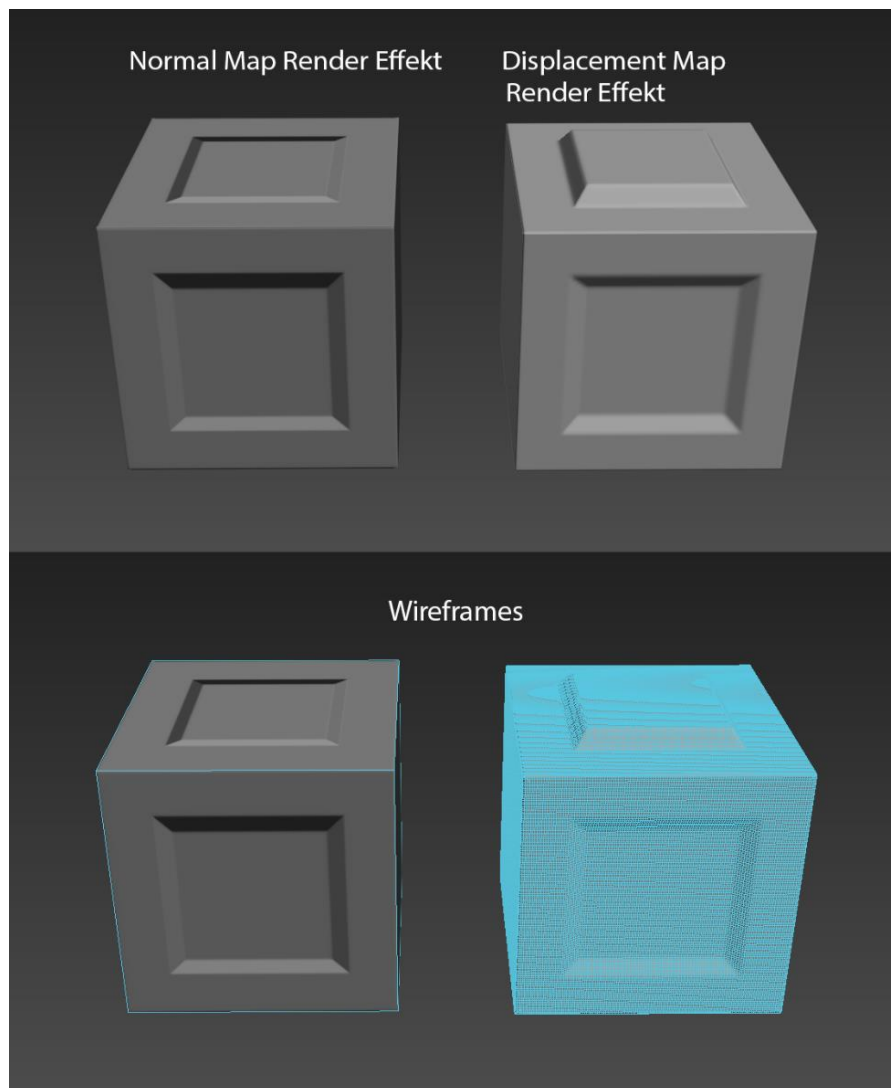


Abbildung 7: Vergleich Normal Map und Displacement Map Effekt

“Displacement maps are generated as a grayscale image that uses the black-to-white intensity variations to push the rendered surface in or pull it out, effectively changing the silhouette of the model. It is important to note that this deformation is always along the point’s surface normal – perpendicular to the model’s surface.

Normal maps do not move rendered points. Instead, these maps alter the surface normal, using RGB color values to tell the rendering engine how to change the way light reacts to the surface. They create the illusion of fully 3D detail within the silhouette of the model but cannot actually deform the surface’s shape.”⁴⁰

⁴⁰ Pixologic (Hrsg.): ZBrush 4R6 Online Documentation, Vector Displacement Maps, <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/exporting-your-model/vector-displacement-maps/>

Normal Maps sind in modernen Echtzeit-Rendering Anwendungen mit realistischem Grafikstil die Norm und werden für fast jeden Typ von Modellen genutzt. Displacement- oder Height Maps hingegen werden eher seltener benutzt, da für einen guten Displacement Effekt auch ein Modell mit entsprechend vielen Eckpunkten notwendig ist oder ein Tessellation Effekt eingesetzt werden muss, welcher die Modellauflösung dynamisch verbessert, um die Forminformationen in der Displacement Map originalgetreu wiedergeben zu können. Im Regelfall kostet die Nutzung von Displacement Maps vergleichsweise mehr Ressourcen als die von Normal Maps.

3.3.3 Übertragung der Texturinformationen auf das retopologisierte / reduzierte Modell

Die Übertragung der Texturinformationen vom hoch auf das niedrig aufgelöste Modell unterscheidet sich kaum von der Übertragung der Forminformationen. Der einzige Unterschied ist, dass dafür die vom Photogrammetrie Programm erstellte Textur zum hoch aufgelösten Modell hinzu geladen werden muss und der richtige Texturtyp in den Übertragungsoptionen in Xnormal angeschaltet werden muss. Allerdings wird bei diesem Schritt einer der Nachteile der 3D Modell Erstellung per Photogrammetrie schnell deutlich, denn bei der Übertragung der Texturinformationen müssen hier oft unüblich hohe Auflösungen gewählt werden, um eine scharfe und deutliche Textur zu erhalten. Das liegt daran, dass bei einem derartigen Asset jeder Pixel einzigartig texturiert ist und man in diesem Fall nicht einfach die Textur mehrfach über das Modell kacheln kann, wie es sonst in der 3D Modell Erstellung für Echtzeit-Rendering üblich ist. Daher ist könnte es eine Lösung sein, spezielle Kompressions- und Streaming-Verfahren einzusetzen, welche im nächsten Teil näher beleuchtet werden.

3.3.4 Lösungsansätze für den hohen Speicherbedarf der durch Photogrammetrie Programme erstellten Modelle

In der traditionellen Arbeitsweise zur Erstellung von 3D Modellen für Echtzeit-Rendering Anwendungen ist es üblich, kachelbare Texturen zu verwenden und im UV Mapping Modellsymmetrien zu nutzen, um den Videospeicherbedarf der Modelle gering zu halten. Bei der Texturierung photogrammetrisch erstellter 3D Modelle ist es grundsätzlich ebenfalls möglich, solche Techniken anzuwenden, wenn allerdings die Texturierung des Photogrammetrie Programms auf das fertige Modell übertragen werden soll, ist dies nicht möglich. In diesem Fall müssen die UV Koordinaten des Modells so ausgelegt sein, dass keine Dreiecksfläche in eine andere überlappt, was bedeutet, dass jede Dreiecksfläche des Modells eine individuelle Texturierung erhält. Dieser Umstand macht es vor allem schwierig, eine gleichmäßige Texturauflösung auf unterschiedlich großen Modellen zu halten, und hat zur Folge, dass die Texturen höher aufgelöst sein müssen, um die gleiche relative Auflösung wie gekachelte Texturen zu erreichen.

Bei der Lösung des Problems des hohen Speicherbedarfs von photogrammetrisch erzeugten und texturierten Modellen haben die Recherchen für diese Arbeit zwei mögliche Lösungsansätze ergeben.

Zum einen gibt es Potenzial, die weit verbreiteten Kompressionsstandards wie DXT1⁴¹ und DXT5⁴² zu optimieren bzw. durch effizientere Komprimierungsverfahren zu ersetzen.⁴³ Andrzej 'Andrew' Poznanski, Entwickler bei The Astronauts, welche durch das Spiel „The Vanishing of Ethan Carter“ und dessen neuartige Optik durch photogrammetrisch rekonstruierte 3D Modelle bekannt wurden, äußert sich im Interview mit dem Online Magazin The Edge wie folgt zu diesem Thema:

“We’ve come up with a new method of texture compression in-house, which allows those huge textures to be two-and-a-half times smaller than they would regularly be in memory. [Photogrammetry] requires a lot of tricks, but that’s the beauty of it...”⁴⁴

Andere Firmen, die sich auf diese Problematik spezialisiert haben, gehen sogar noch einen Schritt weiter und bieten spezielle Plugins für die meist verbreiteten Echtzeit-Rendering Engines. Diese Plugins bieten sowohl eine verbesserte Kompression der Texturen als auch eine Technik, die besonders hoch aufgelöste Texturen für die Engine nutzbar macht. Dies gelingt dadurch, dass diese Textur in viele einzelne Quadrate unterteilt wird und dann das Plugin die für das Rendering notwendigen Quadrate dynamisch in den Speicher lädt. Diese Technik wurde von SGI entwickelt und in den 90er Jahren unter dem Namen Clipmapping der Öffentlichkeit vorgestellt. Unter dem Namen Virtual Texturing wurde diese Technik im Jahr 2011 zudem als Alleinstellungs- und Innovationsmerkmal der Id Tech 5 Echtzeit-Rendering Engine bekannt. Die Technik, riesige Texturen in kleine Bereiche zu unterteilen und nur die zur Laufzeit notwendigen Teile in den Speicher zu laden, ist also keineswegs neu. Jedoch ist es das Aufkommen von derartigen Lösungen als Plugins für bekannte Game Engines, was vermuten lässt, dass immer mehr Entwickler leistungsfähigere Lösungen brauchen, um den Bedarf von Videospeicher ihrer Applikation zu verringern.⁴⁵

⁴¹ Siehe Glossar

⁴² Siehe Glossar

⁴³ o.A.: Lens flair. The Astronauts on why photogrammetry could revolutionise game making for small teams, in: Edge Online vom 24.02.2014, <http://www.edge-online.com/news/lens-flair-the-astronauts-on-why-photogrammetry-could-revolutionise-game-making-for-small-teams/#null> (Zugriff am 02.01.2015)

⁴⁴ o.A.: Lens flair. The Astronauts on why photogrammetry could revolutionise game making for small teams, in: Edge Online vom 24.02.2014, <http://www.edge-online.com/news/lens-flair-the-astronauts-on-why-photogrammetry-could-revolutionise-game-making-for-small-teams/#null> (Zugriff am 02.01.2015)

⁴⁵ Albrecht Julian Mayer: Virtual Texturing, Wien 14.10.2010

3.3.5 Erstellung von kachelbaren Texturen aus gescannten 3D Modellen

Eine weitere Nutzungsmöglichkeit mittels Photogrammetrie erstellter Modelle ist die Weiterverarbeitung zu kachelbaren Texturen. Für diesen Zweck eignen sich vor allem Aufnahmen von relativ planen Oberflächen und Objekten, da im ersten Schritt die Farb- und Forminformationen auf eine möglichst verzerrungsfreie und kontinuierliche Oberfläche projiziert werden müssen. Die extrahierten Farb- und Forminformationen in Form einer Height- und einer Diffuse Map können dann in einem Bildbearbeitungsprogramm, wie Adobe Photoshop, zu einer gekachelten Textur weiterverarbeitet werden. Hierbei ist es wichtig, dass sowohl Height- als auch Diffuse Map synchron bearbeitet werden, da ansonsten die Forminformationen nicht mehr mit den Farbinformationen übereinstimmen würden. Es ist außerdem anzumerken, dass großflächige Höhenunterschiede in der Height Map zu vermeiden sind, da diese es besonders schwierig machen, die Textur zu bearbeiten. Dieses Problem kann bei der Projektion in Xnormal oder per Bildbearbeitung in Photoshop korrigiert werden.

Normalerweise gibt es zwei übliche Ansätze, um kachelbare Texturen zu erstellen. Eine Photographie wird in einem Bildbearbeitungsprogramm wie Adobe Photoshop nachbearbeitet und darauf folgend werden die Forminformationen mithilfe eines Normal Map Generators aus der Diffuse Textur oder einer daraus gewonnenen Height Map erstellt. Die andere Möglichkeit ist, ein kachelbares Modell anzufertigen und dann die Forminformationen auf eine geeignete Fläche zu projizieren. Die aus diesem Schritt gewonnenen Texturen können dann in Photoshop weiterverarbeitet und verbessert werden. Die Erstellung direkt von der Photographie ist die schnellste Methode, aber dafür sind die daraus gewonnen Normal und Displacement Maps oft von minderwertiger Qualität und nicht geeignet, die Formeigenschaften der Oberfläche korrekt wiederzugeben. Die zweite Technik, bei der man mit der Modellierung in 3D anfängt, ist die zeitaufwändigste Methode, da hier am meisten manuelle Arbeit verrichtet werden muss. Dafür liefert diese Methode eine sehr hohe Qualität im Vergleich zu den Ergebnissen eines Normal Map Generators. Wenn aber photogrammetrisch erzeugte Modelle als Ausgangsmaterial benutzt werden, kann der Arbeitsaufwand gering gehalten werden, da das hoch aufgelöste Modell nicht manuell modelliert werden muss. Zudem ist das photogrammetrisch erzeugte Modell bereits texturiert, was den Arbeitsaufwand bei gleicher Qualität weiter verringert.

4 Reflexion

In den vorausgegangenen Kapiteln wurde die Arbeitsweise für 3D Modellierung mit Photogrammetrie analysiert und die Eigenheiten dieses Prozesses in Bezug auf die Nutzung für eine Echtzeit-Rendering Anwendung beleuchtet. Die folgenden Abschnitte sollen daher nun auch die Effektivität und Einsatzmöglichkeiten der Photogrammetrischen Arbeitsweise, anhand praktischer Tests, genauer untersuchen. In der traditionellen 3D Modellierung gibt es eine Fülle von unterschiedlichen Programmen und Methoden, die je nach Verwendungszweck genutzt werden können. Von Gelände-Generatoren bis zu Programmen für Partikel-basierte Texturierung gibt es für fast jedes spezielle Einsatzgebiet maßgeschneiderte Lösungen, welche versprechen, die Qualität der Endergebnisse bei geringerem Arbeitsaufwand zu steigern. Die photogrammetrische Arbeitsweise verspricht, komplette Arbeitsschritte in der 3D Modellierung zu automatisieren und dabei photorealistische und qualitativ hochwertige Ergebnisse zu erzeugen. Daher wird der folgende Abschnitt Photogrammetrie und traditionelle Modellierung miteinander vergleichen und dabei herausarbeiten, ob und wann 3D Modellierer von dieser Methode profitieren können.

Um einen Vergleich zwischen den beiden Methoden zu ermöglichen und somit eine Schlussfolgerung zu der Effektivität und Nutzbarkeit der jeweiligen Methode geben zu können, wurden Vergleichspunkte erarbeitet, anhand derer eine Gegenüberstellung möglich ist. Die gewählten Vergleichspunkte sind Einsatzmöglichkeit, zeitlicher Arbeitsaufwand, Qualität der Endergebnisse und die notwendige technische Ausstattung. Während der Gegenüberstellungspunkt „Einsatzmöglichkeit“ theoretisch anhand der technischen Grenzen erarbeitet werden kann, werden für die anderen Gegenüberstellungspunkte praktische Tests für aussagekräftige Vergleichswerte durchgeführt.

In den folgenden Kapiteln wird nun der praktische Test vorgestellt, die Ergebnisse in der Form einer Gegenüberstellung präsentiert und im Folgenden eine Auswertung vorgenommen.

5 Vorstellung des praktischen Tests

Als Vorbereitung auf die Gegenüberstellung wurden praktische Tests der traditionellen und der photogrammetrischen Methode durchgeführt. Mithilfe dieser Tests, bei denen mehrere Modelle mit beiden Methoden für eine Echtzeit-Rendering Anwendung erstellt wurden, ist es möglich, die Arbeitsweisen zu vergleichen und somit die Ergebnisse der einzelnen Vergleichspunkte auszuwerten. Dieses Kapitel erläutert die Wahl der Testmodelle sowie den Ablauf und die Durchführung der einzelnen Testfälle.

5.1 Wahl der Testmodelle

Bei der Wahl der Testmodelle war das Hauptkriterium die Vielseitigkeit sowie die optimale und einfache Erstellbarkeit der Modelle in beiden Methoden. Die folgende Tabelle beschreibt die ausgewählten Testmodelle und beleuchtet die Besonderheiten der jeweiligen Testmodelle, die die Entscheidung begründen.

Testmodell	Besonderheiten des Testmodells
Waldbodentextur	Bodentexturen werden in der traditionellen Methode meist direkt aus einer einzelnen Photographie mithilfe eines Normal Map Generators erstellt. An dieser Stelle ist es interessant zu erforschen, ob die photogrammetrische Methode arbeitsintensiver ist und welches Ergebnis qualitativ überzeugt.
Baumstamm mit Wurzel	Baumstämme werden oft in mehrfacher Ausführung gebraucht, um damit eine natürliche Szenerie erstellen zu können. Dabei werden meist einige wenige Modelle angefertigt, welche mehrfach in der Szene platziert werden. Hier ist ein interessanter Aspekt die Frage, ob diese Wiederholungen bei photogrammetrisch erstellten Modellen auffälliger sind als bei traditionell erstellten.
Walnuss	Die Walnuss ist ein relativ kleines Modell, bei dem der Modellierungsaufwand vergleichsweise gering ist. Außerdem ist es hierbei relativ leicht, die Retopologisierung im manuellen Prozess zu umgehen, indem von einem niedrig aufgelösten Modell aus gearbeitet wird. Bei diesem Fall stellt sich vor allem die Frage, ob die photogrammetrische Arbeitsweise hier noch effizient ist.

Charakter-Kopf	Aufgrund des hohen Komplexitätsgrads und der hohen Relevanz von Charakteren in Echtzeit-Rendering Anwendungen ist es interessant zu ermitteln, welche der beiden Methoden effizienter ist und ob das für den photogrammetrischen Testfall vorhandene Equipment reicht, um qualitativ hochwertige Resultate zu erreichen.
-----------------------	--

Tabelle 1: Wahl der Testmodelle

5.2 Durchführung der einzelnen Testfälle

Um eine genauere Vorstellung davon zu vermitteln, wie die Durchführung der einzelnen Tests gestaltet wurde, wird im folgenden Teil auf diese Abläufe näher eingegangen. Dazu ist allgemein anzumerken das den Teilnehmern des Tests zur traditionellen Modellierung die Arbeitsweise weitgehend freigestellt wurde. Jedoch gab es Richtwerte und Voraussetzungen für deren Endergebnisse. Für die traditionellen Methoden wird nur eine Beschreibung der Vorgaben für die Durchführung gegeben, da die konkreten Arbeitsweisen individuell von den Teilnehmern abhängig waren. Im späteren Verlauf sind dort nur Aufwand und Ergebnis relevant. Bei den Abschnitten zur photogrammetrischen Methode wird hingegen auch auf die Details der Durchführung eingegangen, da diese für den Vergleich und für die Zielgruppe dieser Arbeit von hoher Relevanz sind und diese Arbeit das Ziel hat, über die photogrammetrische Arbeitsweise genauer zu informieren. Alle photogrammetrischen Tests wurden vom Autor dieser Arbeit selbst durchgeführt.

5.2.1 Allgemeine Vorgaben für die praktischen Tests

Für den Test gab es allgemeine Richtlinien, die von allen Teilnehmern bei den Verfahren anzuwenden waren. Zudem gab es beim Test der manuellen Modellierung für jede Aufgabe noch einmal spezielle Hinweise zur Bearbeitung. Nachfolgend nun die allgemein gültigen Vorgaben für die praktischen Tests.

Für die Endergebnisse der praktischen Tests gab es folgende Vorgaben:

- Das 3D Modell muss aus Polygonen bestehen und UV Koordinaten besitzen
- Die Anzahl der Dreiecksflächen des 3D Modells darf den Richtwert, so weit vorgegeben, unterbieten, aber nur maximal um 50% übersteigen
- Das 3D Modell muss eine Albedo und eine Normal Textur besitzen

- Zur Überprüfung der Ergebnisse müssen alle Teilnehmer Marmoset Toolbag 2 verwenden

Diese Anforderungen stellen sicher, dass die Endergebnisse des Tests für Echtzeit-Rendering nutzbar sind und dass die 3D Modellierer in ihrer Arbeitsweise flexibel bleiben können. Zudem gewährleistet die Festlegung auf ein Rendering Programm die Vergleichbarkeit der Resultate.

Für die Protokollierung der Zwischenschritte wurden die Teilnehmer gebeten, folgende Merkmale zu dokumentieren:

- Verwendetes Programm
- Ziel des Arbeitsschrittes
- Benötigte Zeit für diesen Arbeitsschritt

Zudem gab es ein vorgegebenes Format für die Verortung der einzelnen Arbeitsschritte im Protokoll, um die spätere Gegenüberstellung und Auswertung zu vereinfachen. Allerdings wurde diese nicht immer eingehalten und in einem solchen Fall wurden falsch verortete Einträge für die Ergebnispräsentation und die Auswertung in die ihnen zugeordnete Kategorie verortet. Dadurch wurde die Kategorisierung der einzelnen Arbeitsschritte über alle Tests hinweg vereinheitlicht.

Die Protokollierungshinweise sollten die Nachvollziehbarkeit der Testergebnisse verbessern und einen differenzierteren Vergleich der zwei unterschiedlichen Methoden ermöglichen.

5.2.2 Testfall 1: Waldbodentextur

Traditionelle Methode

Bei dieser Aufgabe mussten die Teilnehmer eine kachelbare Textur für einen Nadelwaldboden erstellen, wobei nur drei verschiedene Texturtypen gefordert waren und kein Echtzeit-Rendering geeignetes 3D Modell. Den Teilnehmern wurden keine Referenzbilder vorgegeben.

Anforderungen an die Endergebnisse dieser Aufgabe:

- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Displacement Textur, Auflösung 2048x2048, 16bit pro Kanal

Photogrammetrische Methode

Für die Bearbeitung dieser Aufgabe wurden mit einer Canon EOS 550D Spiegelreflexkamera Photographien des Bodens in einem Waldstück aufgenommen. In diesem Fall wurden kein Stativ oder andere externe Hilfsmittel verwendet, um die Aufnahmebedingungen zu verbessern. Die Aufnahmen fanden zudem in einem relativ dunklen Teil des Waldes bei bedecktem Wetter statt.

Die Aufnahmen waren jedoch qualitativ ausreichend, um ein detailliertes Modell mit Photoscan zu erzeugen.

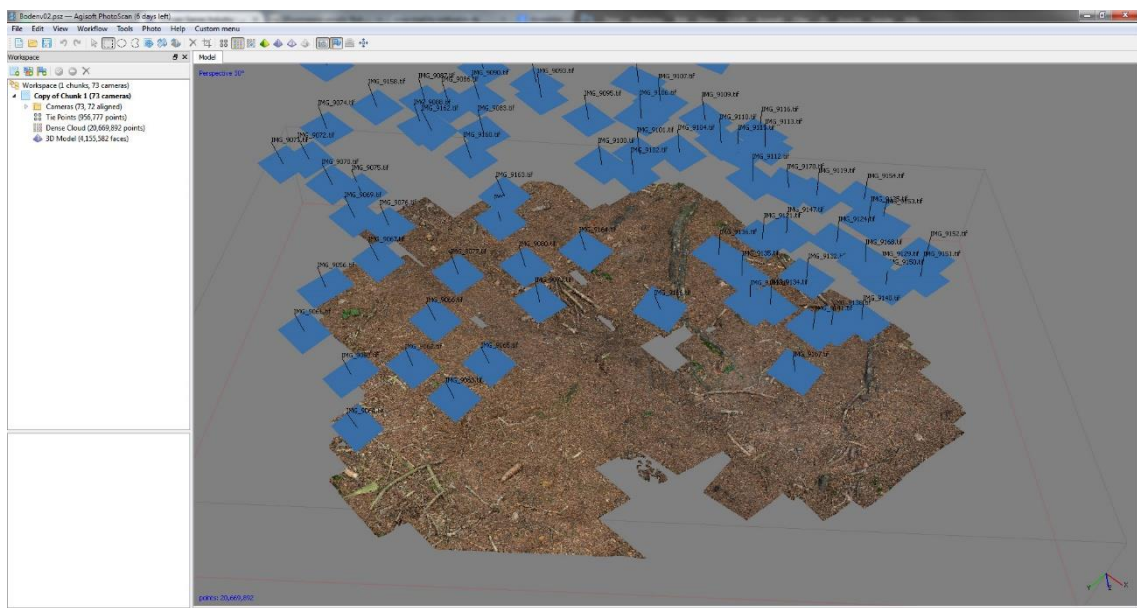


Abbildung 8: Dense Point Cloud des Nadelwaldbodens, die blauen Rechtecke repräsentieren die unterschiedlichen Kamerapositionen

Abbildung 8 zeigt einen Screenshot aus dem Programm Photoscan. Zu sehen ist die generierte Dense Point Cloud einer Waldbodentextur und die ausgerichteten Photographien in blau. Wie man auf der obigen Abbildung gut erkennen kann, war es nicht so leicht, eine gleichmäßige Abdeckung des Bereichs mit Photographien zu erreichen. Manche Aufnahmen waren unscharf und mussten aussortiert werden, und manche Bereiche wurden nicht so gut erfasst wie es die Aufnahmen vermuten ließen. Dennoch war

der rekonstruierte Bereich groß genug, um daraus eine kachelbare Textur erstellen zu können.

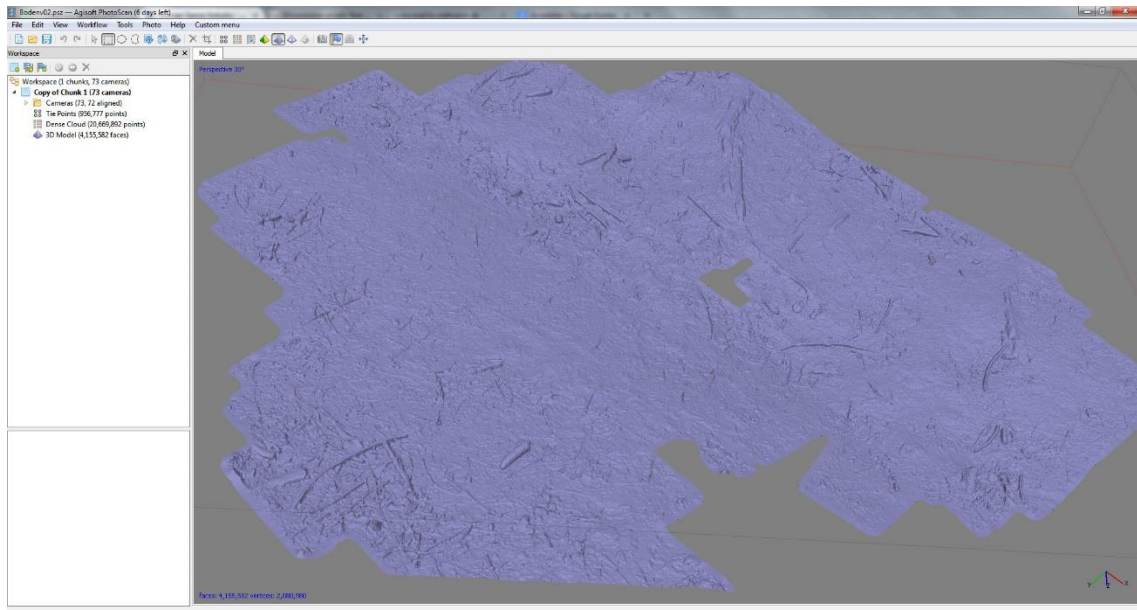


Abbildung 9: die detaillierte Geometrie, die von Photoscan erzeugt wurde

Abbildung 9 zeigt das aus Abbildung 8 generierte 3D Modell ohne Textur. Dieses Modell wurde dann mit Xnormal auf eine quadratische Fläche projiziert und daraus eine Albedo und eine Displacement Textur erstellt. Beide Texturtypen wurden danach in Adobe Photoshop zu einer kachelbaren Textur weiterverarbeitet, wobei Albedo und Displacement Textur synchron bearbeitet werden mussten. Als letzter Schritt wurden dann aus der kachelbaren Displacement Textur eine Normal Textur generiert.

5.2.3 Testfall 2: Baumstamm mit Wurzel

Traditionelle Methode

Bei dieser Aufgabe mussten die Testteilnehmer ein digitales Modell eines Baumstamms mit Wurzelansatz erstellen. In diesem Fall wurde den Modellierern ein Referenzbild vorgegeben, an dem sie sich orientieren sollten. Dieses Referenzbild wurde für den photogrammetrischen Test aufgenommen und ist weitgehend identisch mit dem photogrammetrisch erstellten Modell, wodurch die Ergebnisse beider Methoden vergleichbar werden.

Anforderungen an die Endergebnisse dieser Aufgabe:

- 3D Modelle, Richtwert für Anzahl der Dreiecksflächen 650
- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal

Photogrammetrische Methode

Die Aufnahmebedingungen und die verwendete Ausrüstung waren dieselben wie schon bei den Aufnahmen für die Bodentextur. Die Aufnahmen erfolgten in 10 bis 15 Grad Schritten um das Objekt herum, dabei wurden bei jedem Schritt aus mindestens drei unterschiedlichen Höhen Bilder erstellt.

Abbildung 10 zeigt die Thin Point Cloud des bereits in Abbildung 2-4 gezeigten Baumstammmodells mit den ausgerichteten Photos in Photoscan. Es ist sehr deutlich zu erkennen, wie die unterschiedlichen Photos vom Modell erstellt wurden. Der Photograph blieb bei den Aufnahmen der Fotos aus unterschiedlichen Höhen weiterhin auf Augenhöhe und hat lediglich seine Kamera geneigt.

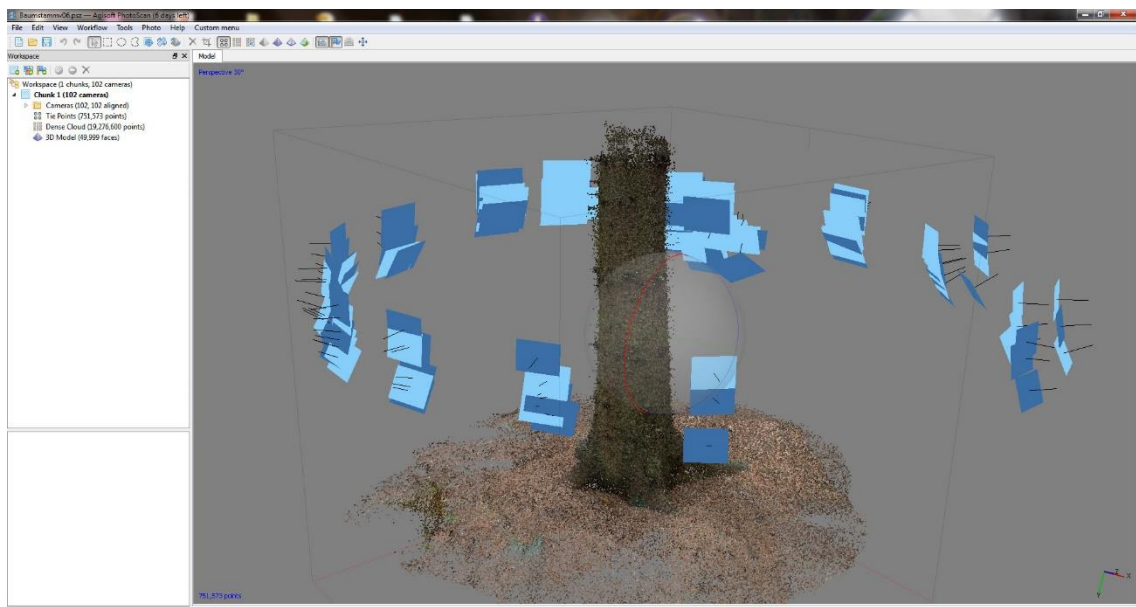


Abbildung 10: niedrig aufgelöste Punktwolke, welche bei der Verortung der Kamerapositionen (blaue Rechtecke) berechnet wird

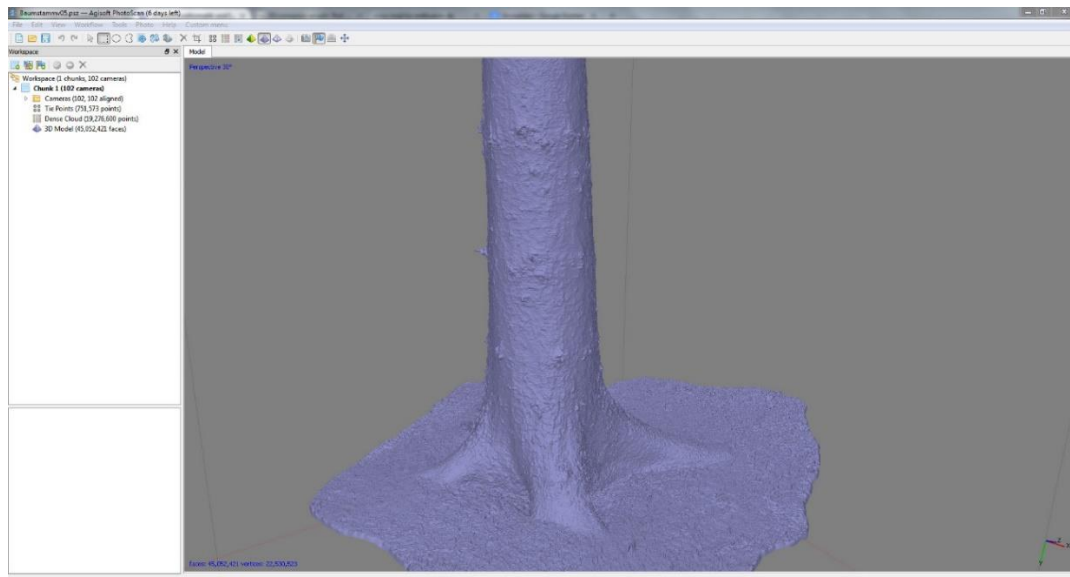


Abbildung 11: Geometrie des Baumstamms, die von Photoscan rekonstruiert wurde

Abbildung 11 zeigt das von Photoscan rekonstruierte hochaufgelöste 3D Modell ohne Textur. Obwohl das Objekt gut erfasst wurde und nur wenige Korrekturen an der Punktwolke notwendig waren, gab es Probleme mit Unschärfe in den Photographien, die zu einem qualitativ minderwertigen Ergebnis bei der Texturprojektion führten. Daher musste eine manuelle Qualitätskontrolle der Aufnahmen vollzogen und die Anzahl der Bilder reduziert werden, damit die Projektion der Textur in Photoscan nur mit den schärfsten Bildern der Aufnahmereihe arbeitet. Dennoch war weitere Arbeit in Photoshop nötig, um ein akzeptables Ergebnis zu erhalten.

5.2.4 Testfall 3: Walnuss

Traditionelle Methode

Bei dieser Aufgabe mussten die Testteilnehmer ein 3D Modell einer Walnuss erstellen. In diesem Fall wurde ebenfalls ein Referenzbild vorgegeben, an dem sie sich orientieren sollten. Dieses Referenzbild wurde für den photogrammetrischen Test aufgenommen und ist aus diesem Grund weitgehend identisch mit dem photogrammetrisch erstellten Modell, wodurch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist.

Anforderungen an die Endergebnisse dieser Aufgabe:

- 3D Modelle, Richtwert für Anzahl der Dreiecksflächen 650
- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal

Photogrammetrische Methode

Die Aufnahmen der Walnuss wurden in einem Innenraum und unter Verwendung eines Drehtellers und eines Stativs erstellt. Zur Ausleuchtung der Aufnahmen wurde lediglich die gewöhnliche Deckenleuchte benutzt, die bereits im Raum installiert war.



Abbildung 12: Aufbau für die Aufnahmen der Walnuss

Abbildung 12 zeigt den Aufbau für die Photographien der Walnuss. Die Kameraposition wurde mit dem Stativ fixiert und dann wurde der Drehteller nach jeder Aufnahme um ungefähr 18 Grad gedreht, bis eine 360 Grad Drehung vollzogen war. Dieser Vorgang musste für jede Seite der Nuss zweimal ausgeführt werden, um beide 360 Grad Aufnahmereihen jeder Seite von zwei unterschiedlichen Kamerapositionen auszuführen und das Objekt vollständig zu erfassen. Abbildung 13 zeigt das Walnussmodell mit ausgerichteten Photographien. Es lässt sich an dieser Darstellung gut erkennen, wie PhotoScan die verschiedenen Aufnahmen registriert und die beiden Kameragruppen zusammengefügt hat.

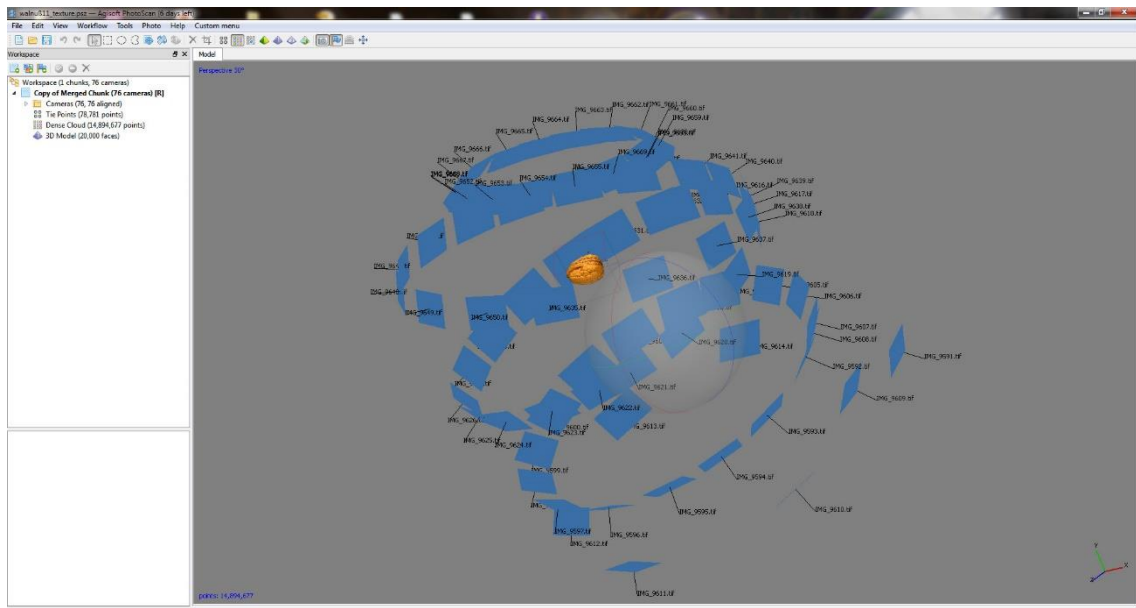


Abbildung 13: Walnussmodell mit ausgerichteten Photographien, Zusammenführung der Kameragruppen

Da für die Aufnahmen die Unterseite der Szene physisch verändert wurde, war es notwendig, die Photographien vor und nach der Veränderung der Szene in getrennten Gruppen in Photoscan zu laden und berechnen zu lassen. Erst nachdem die Kamerastandorte beider Gruppen berechnet wurden, war es möglich, die beiden Gruppen aneinander anzupassen, so dass diese gemeinsam zur Rekonstruktion des Objektes genutzt werden konnten. Bei der Erstellung der Textur war in diesem Fall nur eine Anpassung der Farb- und Kontrastwerte nötig, um die unvoreilhaftete Ausleuchtung der Szene zu kompensieren.

5.2.5 Testfall 4: Charakter-Kopf

Traditionelle Methode

In dieser Aufgabe wurden die Teilnehmer gebeten, eine detaillierte Einschätzung zum Zeitaufwand für die Modellierung eines menschlichen Kopfes zu geben und diese im vorgegeben Protokollformat zu notieren. Da der gesamte Test mit den drei vorherigen Aufgaben bereits relativ arbeitsintensiv war und zusätzlich im vorangegangenen photogrammetrischen Test dieser Aufgabe keine für einen Vergleich geeigneten Endergebnisse erreicht werden konnten, wurde auf eine praktische Bearbeitung dieser Aufgabe verzichtet.

Photogrammetrische Methode

Die photogrammetrische Erfassung eines menschlichen Kopfes stellte sich als schwierigste Aufgabe heraus. Die Aufnahmen wurden im selben Raum mit den gleichen Lichtverhältnissen und Bedingungen erstellt wie für die Walnuss. Zudem trug die Person auf den Aufnahmen eine Mütze und mattierendes Makeup, um die räumliche Erfassung in Photoscan zu verbessern. Zur Aufnahme in verschiedenen Winkeln zum Objekt wurde das Stativ mit der Kamera um die Person herumbewegt, wobei die Person darauf achten musste, sich möglichst nicht zu bewegen und die Augen ruhig auf einen Punkt zu fixieren.

Abbildung 14 zeigt das generierte 3D Modell ohne Textur, welches das Resultat der Erfassung des menschlichen Kopfes in Photoscan ist. Die sehr raue und fehlerhafte Oberfläche sowie die Lücken im Mesh sind deutlich sichtbar.

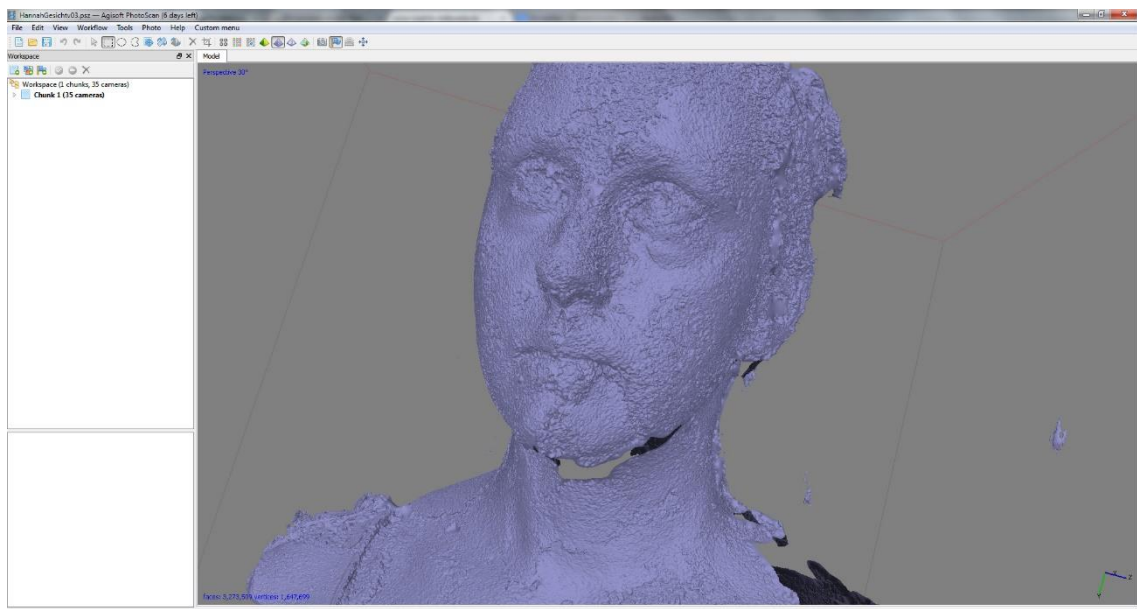


Abbildung 14: Geometrie der photogrammetrischen Rekonstruktion des Kopfes

Die lückenhafte und sehr ungenaue Rekonstruktion trotz gleicher Bedingungen wie bei der Walnuss erschwert die weitere Verarbeitung zu einem 3D Modell für Echtzeit-Rendering Anwendungen enorm und gestaltet die Aufbesserung des Modells als sehr zeitaufwändig. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet, das rekonstruierte Modell weiter zu verarbeiten. Die Resultate der photogrammetrischen Rekonstruktion hätten in diesem Fall bestenfalls als Vorlage für eine manuelle Modellierung verwendet werden können.

Abbildung 15 zeigt die Texturprojektion. Diese ist hinsichtlich Auflösung und Qualität brauchbar und es wäre somit theoretisch möglich, ein manuell erstelltes Modell in Photoscan zu importieren und die Texturen auf dieses zu projizieren.

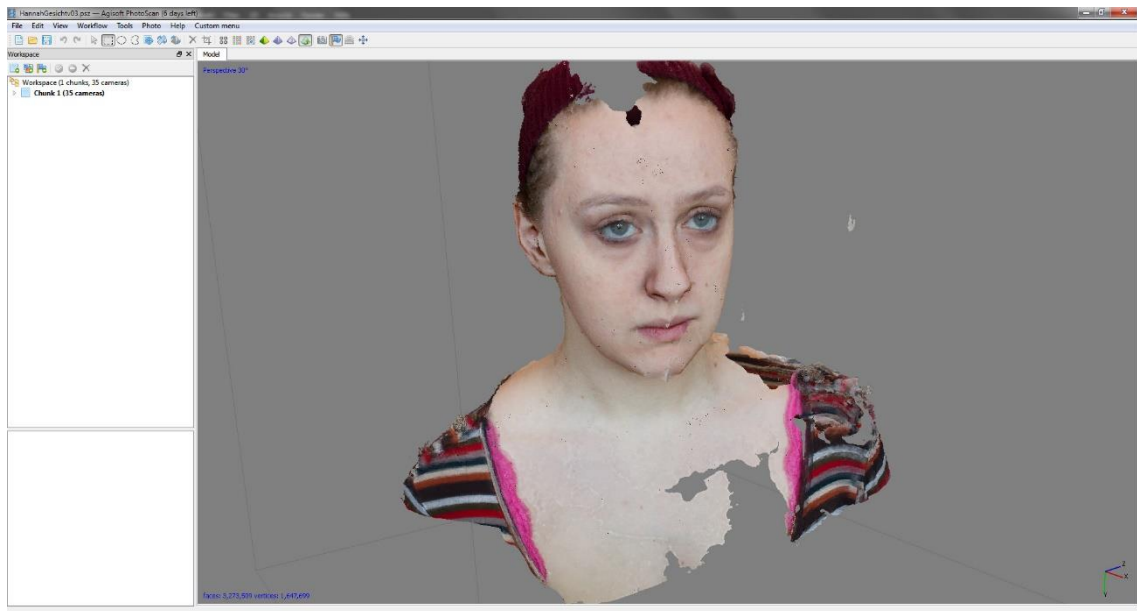


Abbildung 15: Texturprojektion für das Kopfmodell auf einem 3D Modell

6 Gegenüberstellung der Ergebnisse

Nach der ausführlichen Vorstellung des praktischen Tests werden im Folgenden die Ergebnisse des Tests für eine Gegenüberstellung präsentiert. Bei dieser Gegenüberstellung wird, wie bereits in der Reflexion erwähnt, auf die Vergleichspunkte Einsatzmöglichkeit, zeitlicher Arbeitsaufwand, Qualität der Endergebnisse und die notwendige technische Ausstattung eingegangen. Da für jeden Vergleichspunkt eine etwas andere Recherche, Ergebnis-Akquirierung und Verifizierung notwendig waren, wird hier im Einzelnen noch genauer darauf eingegangen.

6.1 Einsatzmöglichkeit

Zunächst ist die allgemeine Einsatzmöglichkeit der beiden Methoden für die Erstellung von 3D Modellen für Echtzeit-Rendering Anwendungen zu beleuchten. Bei diesem Schritt wurde für die Einsatzmöglichkeit der photogrammetrischen Methode die Grenzen und Bedingungen der Software Photoscan, welche im Handbuch definiert wurden, als Richtwert verwendet. Ein praktischer Test war aus diesem Grund nicht notwendig.

Die traditionelle Methode wird nur durch die Fähigkeiten und Vorstellungskraft des Modellierers eingeschränkt, denn theoretisch ist es mit dieser Arbeitsweise möglich, jeden Gegenstand zu modellieren, der sich im 3-dimensionalen Raum erfassen lässt.

Bei der photogrammetrischen Methode wiederum wird die Einsatzmöglichkeit auf die in der realen Welt vorhandenen Objekte beschränkt. Zusätzlich werden die Einsatzmöglichkeiten durch Grenzen der Software und vorhandenes Equipment eingeschränkt.

Ein großer Nachteil in der Rekonstruktion von 3D Modellen durch Photogrammetrie Programme ist, dass spiegelnde und stark glänzende Oberflächen nur sehr schlecht oder gar nicht erfasst werden können. Daher ist es in manchen Fällen notwendig, die Oberfläche des Objektes mit einem Material zu behandeln, das ihm den Glanz nimmt und eine deutlichere Textur verleiht, wodurch es der Software ermöglicht wird, das Objekt korrekt zu erfassen. Wenn es in so einem Fall jedoch zusätzlich notwendig ist, dass Photographien des Objektes zur Textur-Erstellung genutzt werden sollen, ist es notwendig, die Aufnahmen einmal vor und einmal nach der Oberflächenbehandlung aufzunehmen, und das von den exakt gleichen Standorten aus. Dann können die kalibrierten Kameradaten aus der Version mit der behandelten Oberfläche auf die mit der unbehandelten Oberfläche übertragen werden. Transparente bzw. durchsichtige Materialien wie

Glas verursachen ähnliche Probleme und lassen sich nur schlecht mit Photogrammetrie Programmen erfassen.⁴⁶⁴⁷

Eine weitere Schwierigkeit für Photogrammetrie Software ist die Erfassung von Fell, Haaren oder ähnliche kleine und komplexe Oberflächen. Die Auflösung und der Detailgrad der Photographien reichen hierbei nicht aus, um der Software ausreichend Informationen zu liefern, damit sie derart feine Oberflächen korrekt rekonstruieren kann. Zudem haben Haare auch glänzende Eigenschaften, was unter ungünstigen Beleuchtungsbedingungen weitere Probleme erzeugen kann. Daher ist es etwa bei der Erfassung von Menschen üblich, die Haare mit einem eng anliegenden Stoff zu bedecken und dann die Haare manuell in einem Programm für 3D Modellierung zu erstellen. Zudem gibt es noch die Möglichkeit, dass die zu rekonstruierende Person bei den Aufnahmen eine geflochtene Frisur trägt, da diese klare simple Form besser von der Rekonstruktion erfasst werden kann.⁴⁸⁴⁹

Zusammengefasst

Grenzen der Einsatzmöglichkeiten: Traditionelle Methode	Grenzen der Einsatzmöglichkeiten: Photometrische Methode
Alles, was im 3-dimensionalen Raum darstellbar ist, kann theoretisch umgesetzt werden. Im Prinzip sind hier die Einsatzmöglichkeiten grenzenlos.	Glänzende, spiegelnde und transparente Oberflächen: Nur eingeschränkt möglich, Objekte müssen vor der Erfassung speziell behandelt werden, um den Glanz-Effekt zu reduzieren. Sämtliche Aufnahmen müssen vor und nach dieser Behandlung von den exakt selben Kamerapositionen erstellt werden.
	Fell und Haare:

⁴⁶ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, 2014

⁴⁷ Brandon Blizard: The Art of Photogrammetry: How To Take Your Photos, in Tested, 19.02.2014, <http://www.tested.com/art/makers/460142-art-photogrammetry-how-take-your-photos/> (Zugriff am 10.01.2015)

⁴⁸ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, 2014

⁴⁹ Brandon Blizard: The Art of Photogrammetry: How To Take Your Photos, in Tested, 19.02.2014, <http://www.tested.com/art/makers/460142-art-photogrammetry-how-take-your-photos/> (Zugriff am 10.01.2015)

	Sehr schwierig zu erfassen, vor allem Kurzhaar-Frisuren und geflochtenes Haar lassen sich noch relativ gut erfassen.
	Stilisierte Gegenstände und Fantasiegestalten: nur möglich, indem vorher das gewünschte Modell mit Ton oder ähnlichem modelliert wird, um es anschließend zu fotografieren.
	Sehr große Gegenstände wie Häuser und komplette Landschaften sind nur mit speziellem Equipment, wie etwa flugfähigen Drohnen, möglich.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Einsatzmöglichkeiten⁵⁰⁵¹

Da durch die Grenzen der Einsatzmöglichkeiten der photogrammetrischen Methode sehr viele Sonderfälle entstehen, die schwer zu bewerten sind, werden in den folgenden Gegenüberstellungen vor allem die Erstellung von 3D Modellen untersucht, welche nicht die Grenzen der Photogrammetrie Software überschreiten.

6.2 Zeitlicher Arbeitsaufwand

Ein zentraler Gesichtspunkt beim Vergleich zwischen photogrammetrischen und traditionellen 3D Modellierungsmethoden ist der Zeitaufwand, der notwendig ist, um damit ein fertiges 3D Modell für Echtzeit-Rendering zu erstellen. Um den Zeitaufwand der traditionellen Methode und des photogrammetrischen Verfahrens besser vergleichen zu können, wird der Erstellungsprozess erneut in einzelne Arbeitsschritte aufgeteilt. Die Arbeitsschritte wurden dabei so gewählt, dass sie auf beide Methoden anwendbar sind. Die Schritte sind wie folgt definiert: Akquirieren von Referenzbildern, Erstellung des hochau aufgelösten Modells, Retopologisierung des hochau aufgelösten Modells und Texturierung des retopologisierten 3D Modells.

Es wurden für einen stichprobenartigen Test drei 3D Modellierer gebeten, mithilfe der traditionellen Arbeitsweise Modelle zu erstellen und die Zeiten für die einzelnen definierten Arbeitsschritte zu notieren sowie einige weitere Einschätzungen zu dem Arbeitsaufwand der traditionellen Methode zu geben. Die vorgegebenen Modelle wurden vorher

⁵⁰ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, 2014

⁵¹ Brandon Blizzard: The Art of Photogrammetry: How To Take Your Photos, in Tested, 19.02.2014, <http://www.tested.com/art/makers/460142-art-photogrammetry-how-take-your-photos/> (Zugriff am 10.01.2015)

mit der photogrammetrischen Methode erstellt. Bei einem Teil der Modellierungsaufgaben wurde zudem eine Photographie aus der photogrammetrischen Erstellung den Modellierern bereitgestellt, um möglichst vergleichbare Ergebnisse zu erhalten.

Wichtig ist hierbei, dass längere Berechnungsprozesse durch den Computer vom Vergleich ausgenommen werden, wenn diese stark mit der Leistungsfähigkeit des Geräts skalieren. Die photogrammetrischen Berechnungen können auf einem Office Laptop Tage oder gar Wochen dauern, wohingegen diese auf einer modernen Workstation oder in einem Netzwerk von Computern innerhalb von Minuten fertig gestellt werden können. In der professionellen 3D Content Erstellung ist die Nutzung von Computernetzwerken für rechenintensive Prozesse schon lange obligatorisch und diese Technik kann auch für die photogrammetrische Arbeitsweise genutzt werden. Um die Vergleichbarkeit beider Methoden zu gewährleisten, ist es deswegen notwendig, den Zeitaufwand auf die manuellen Schritte zu begrenzen. Jedoch wird sich ein folgender Abschnitt mit den unterschiedlichen Gerätschaften beschäftigen, die für die Arbeit mit traditionellen oder photogrammetrischen Methoden notwendig sind.

6.2.1 Arbeitsschritt 1: Akquirieren von Referenzbildern

Übersicht der Teilschritte des photogrammetrischen Tests mit Zeitaufwand

Arbeitsaufwand Modell	Arbeitsaufwand Zwischenschritte	Gesamter Arbeitsaufwand
Waldbodentextur	<ul style="list-style-type: none"> Anfahrtszeit: 15 min Säuberung des Bodens (entfernen von zu großen Ästen und Müll): 10 min Zeit für das Erstellen der Fotos: 30 min Abfahrtszeit: 15 min 	1 Stunde 10 Minuten
Baumstamm mit Wurzel	<ul style="list-style-type: none"> Anfahrzeit: 15 min Wartezeit, bis die Lichtverhältnisse stimmen (keine direkte Sonneneinstrahlung): 15 min Erstellen der Fotos: 45 min Abfahrtszeit: 15 min 	1 Stunde 30 Minuten
Walnuss	<ul style="list-style-type: none"> Kaufen der Nuss: 10 min Aufbauen des Aufnahmesetups: 45 min Erstellen der Fotos: 15 min 	1 Stunde 10 Minuten
Charakter (Kopf)	<ul style="list-style-type: none"> Vorbereitung der Person für die Fotos (Haut leicht mattieren, Haare zurück binden, Pose und Kleidung vorbereiten): 20 min Aufbauen des Studiosetups: 10 min Erstellen der Fotos: 20 min 	50 Minuten

Tabelle 3: Protokoll des photogrammetrischen Tests für Referenzbild Akquirierung

Übersicht der Einzelergebnisse aus dem Test der traditionellen 3D Modellierung

Testperson Modell	Ergebnisse Test- person 1	Ergebnisse Test- person 2	Ergebnisse Test- person 3
Waldbodentextur, Zeitaufwand für die Akquirierung von Re- ferenzbildern	20 Minuten	10 Minuten	10 Minuten
Baumstamm mit Wur- zel, Zeitaufwand für die Akquirierung von Referenzbildern	10 Minuten	7 Minuten	40 Minuten
Walnuss, Zeitaufwand für die Akquirierung von Referenzbildern	5 Minuten	Arbeitsschritt wurde ausgelas- sen	Arbeitsschritt wurde ausgelas- sen
Charakter Kopf, Zeit- aufwand für die Akqui- rierung von Referenz- bildern	42 Minuten	10 Minuten	30 Minuten

Tabelle 4: Übersicht des Zeitaufwands für die Akquirierung von Referenzbildern im Test zur traditionellen 3D Modellierung

Zusammenfassung

Arbeitsaufwand Modell	Arbeitsaufwand Durchschnitt (gerundet) traditionelle Methode	Arbeitsaufwand (Zeit) photogrammetrische Methode
Waldbodentextur	13 Minuten	1 Stunde 10 Minuten
Baumstamm mit Wurzel	19 Minuten	1 Stunde 30 Minuten
Walnuss	5 Minuten	1 Stunde 10 Minuten
Charakter (Kopf)	27 Minuten	50 Minuten
Durchschnittlicher Arbeitsaufwand (gerundet) dieses Arbeitsschritts für alle Testfälle	16 Minuten	1 Stunde 10 Minuten

Tabelle 5: Zusammenfassung des Zeitaufwands für die Akquirierung von Referenzbildern

6.2.2 Arbeitsschritt 2: Erstellung von hochaufgelösten Modellen

Übersicht der Teilschritte des photogrammetrischen Tests mit Zeitaufwand

Arbeitsaufwand Modell	Arbeitsaufwand Zwischenschritte	Gesamter Arbeitsaufwand
Waldbodentextur	<ul style="list-style-type: none"> • Adobe Lightroom, Auswahl und Korrekturen der Fotos: 20 min • Agisoft Photoscan, Importieren der Fotos und Starten des Prozesses: 10 min 	30 Minuten
Baumstamm mit Wurzel	<ul style="list-style-type: none"> • Adobe Lightroom Auswahl und Korrekturen der Fotos: 30 min • Agisoft Photoscan, Importieren der Fotos und Starten des Prozesses: 10 min 	40 Minuten
Walnuss	<ul style="list-style-type: none"> • Adobe Lightroom Auswahl und Korrekturen der Fotos: 15 min • Agisoft Photoscan, Importieren der Fotos und Starten des Prozesses: 10 min 	25 Minuten
Charakter (Kopf)	<ul style="list-style-type: none"> • Adobe Lightroom Auswahl und Korrekturen der Fotos: 30 min • Agisoft Photoscan, Importieren der Fotos und Starten des Prozesses: 10 min 	40 Minuten

Tabelle 6: Protokoll des photogrammetrischen Tests für die Erstellung der hochaufgelösten Modelle

Traditionelle Methode

Testperson Modell	Ergebnisse Test- person 1	Ergebnisse Test- person 2	Ergebnisse Test- person 3
Waldbodentextur, tatsächliche Arbeitszeit	0 Minuten, Arbeits- schritt wurde aus- gelassen	0 Minuten, Arbeits- schritt wurde aus- gelassen	0 Minuten, Arbeits- schritt wurde aus- gelassen
Baumstamm mit Wurzel, tatsächliche Arbeitszeit	30 Minuten	1 Stunde	1 Stunde 15 Minu- ten
Walnuss, tatsächliche Arbeitszeit	55 Minuten	25 Minuten	35 Minuten
Charakter (Kopf), Schätzung der Arbeitszeit	7 Stunden	4 Stunden	5 Stunden

Tabelle 7: Übersicht des Zeitaufwands für die Erstellung von hochaufgelösten Modellen im Test zur traditionellen 3D Modellierung

Zusammenfassung

Modell	Arbeitsaufwand Durchschnitt (gerundet) traditionelle Methode	Arbeitsaufwand (Zeit) photogrammetrische Methode
Waldbodentextur	0 Minuten, Arbeitsschritt wurde bei dieser Aufgabe von allen Teilnehmern ausgelassen	30 Minuten
Baumstamm mit Wurzel	55 Minuten	40 Minuten
Walnuss	38 Minuten	25 Minuten
Charakter (Kopf)	5 Stunden 20 Minuten, aufgrund fehlendem Vergleichsresultat nicht Teil des durchschnittlichen Arbeitsaufwands	40 Minuten, Arbeitszeit nicht vergleichbar da die Resultate aus dem Test unbrauchbar sind
Durchschnittlicher Arbeitsaufwand (gerundet) der ersten 3 Aufgaben für das Erstellen von hochaufgelösten Modellen	31 Minuten	32 Minuten

Tabelle 8: Zusammenfassung des Zeitaufwands für die Erstellung von hochaufgelösten Modellen

6.2.3 Arbeitsschritt 3: Retopologisierung des hochaufgelösten Modells

Übersicht der Teilschritte des photogrammetrischen Tests mit Zeitaufwand

Arbeitsaufwand Modell	Arbeitsaufwand Zwischenschritte	Gesamter Arbeitsaufwand
Waldbodentextur	<ul style="list-style-type: none"> • 3ds Max, Erstellung der Retopologie: 5 Minuten • 3ds Max, Erstellung der UV Koordinaten in 3ds Max : 2 Minuten 	7 Minuten
Baumstamm mit Wurzel	<ul style="list-style-type: none"> • 3ds Max, Erstellung der Retopologie: 40 Minuten • 3ds Max Erstellung der UV Koordinaten: 20 Minuten 	1 Stunde
Walnuss	<ul style="list-style-type: none"> • 3ds Max, Erstellung der Retopologie: 15 Minuten • 3ds Max, Erstellung der UV Koordinaten: 5 Minuten 	20 Minuten
Charakter (Kopf)	Mit den verwendeten Methoden aufgrund der sehr schlechten Rekonstruktion des hochaufgelösten Modells, nicht messbar	-(nicht messbar)-

Tabelle 9: Protokoll des photogrammetrischen Tests zur Retopologisierung der Modelle

Traditionelle Methode

Testperson Modell	Ergebnisse Test- person 1	Ergebnisse Test- person 2	Ergebnisse Test- person 3
Waldbodentextur tatsächliche Arbeitszeit	0 Minuten, Arbeits- schritt wurde aus- gelassen	0 Minuten, Arbeits- schritt wurde aus- gelassen	0 Minuten, Arbeits- schritt wurde aus- gelassen
Baumstamm mit Wurzel tatsächliche Arbeitszeit	20 Minuten	2 Stunden	0 Minuten, Arbeits- schritt wurde aus- gelassen
Walnuss tatsächliche Arbeitszeit	15 Minuten	7 Minuten	0 Minuten, Arbeits- schritt wurde aus- gelassen
Charakter (Kopf) Schätzung der Arbeitszeit	25 Minuten	3 Stunden	1 Stunde 30 Minuten

Tabelle 10: Übersicht des Zeitaufwands für die Retopologisierung im Test zur traditionellen 3D Modellierung

Zusammenfassung

Arbeitsaufwand Modell	Arbeitsaufwand Durchschnitt (gerundet) traditionelle Methode	Arbeitsaufwand (Zeit) photogrammetrische Methode
Waldbodentextur	0 Minuten, Arbeitsschritt wurde bei dieser Aufgabe von allen Teilnehmern ausgelassen	7 Minuten
Baumstamm	47 Minuten	1 Stunde
Walnuss	7 Minuten	20 Minuten
Charakter (Kopf)	98 Minuten, aufgrund fehlendem Vergleichsresultat nicht Teil des durchschnittlichen Arbeitsaufwands	-(nicht messbar)-
Durchschnittlicher Arbeitsaufwand (gerundet) der ersten 3 Aufgaben für Retopologisierung des hochaufgelösten Modells	18 Minuten	29 Minuten

Tabelle 11: Zusammenfassung des Zeitaufwands für die Retopologisierung

6.2.4 Arbeitsschritt 4: Texturierung des retopologisierten 3D Modells

Übersicht der Teilschritte des photogrammetrischen Tests mit Zeitaufwand

Arbeitsaufwand Modell	Arbeitsaufwand Zwischenschritte	Gesamter Arbeitsaufwand
Waldbodentextur	<ul style="list-style-type: none"> - Xnormal, Erstellen der Bakes: 5 Minuten - Photoshop, Nachbearbeitung der Texturen: 1 Stunde 	1 Stunde 5 Minuten
Baumstamm mit Wurzel	<ul style="list-style-type: none"> - Xnormal, Erstellen der Bakes: 5 Minuten - Photoshop, Nachbearbeitung der Texturen: 45 Minuten 	50 Minuten
Walnuss	<ul style="list-style-type: none"> - Xnormal, Erstellen der Bakes: 5 Minuten - Photoshop, Nachbearbeitung der Texturen: 20 Minuten 	25 Minuten
Charakter (Kopf)	Mit den verwendeten Methoden aufgrund nicht optimaler Ergebnisse enorm groß, nicht messbar	-(nicht messbar)-

Tabelle 12: Protokoll des photogrammetrischen Tests zur Texturierung der Modelle

Traditionelle Methode

Testperson Modell	Ergebnisse Test- person 1	Ergebnisse Test- person 2	Ergebnisse Test- person 3
Waldbodentextur tatsächliche Ar- beitszeit	25 Minuten	15 Minuten	47 Minuten
Baumstamm mit Wurzel tatsächli- che Arbeitszeit	1 Stunde 1 Minute	35 Minuten	28 Minuten
Walnuss tatsäch- liche Arbeitszeit	26 Minuten	1 Stunde 25 Minu- ten	40 Minuten
Charakter (Kopf) Schätzung der Ar- beitszeit	40 Minuten	3 Stunden	1 Stunde 40 Minu- ten

Tabelle 13: Übersicht des Zeitaufwands für die Texturierung im Test zur traditionellen 3D Modellierung

Zusammenfassung

Arbeitsaufwand Modell	Arbeitsaufwand Durchschnitt (gerundet) traditionelle Methode	Arbeitsaufwand (Zeit) photogrammetrische Methode
Waldbodentextur	29 Minuten	1 Stunde 5 Minuten
Baumstamm	41 Minuten	50 Minuten
Walnuss	50 Minuten	25 Minuten
Charakter (Kopf)	1 Stunde 47 Minuten, aufgrund fehlendem Vergleichsresultat nicht Teil des durchschnittlichen Arbeitsaufwands	-(nicht messbar)-
Durchschnittlicher Arbeitsaufwand (gerundet) der ersten 3 Aufgaben für Texturierung des re-topologisierten 3D Modells	40 Minuten	47 Minuten

Tabelle 14: Zusammenfassung des Zeitaufwands für die Texturierung

6.2.5 Zusammenfassung

Arbeitsaufwand Modell	Durchschnittlicher Arbeitsaufwand (Zeit) traditionelle Methode	Arbeitsaufwand (Zeit) photogrammetrische Methode	Arbeitsaufwand (Zeit) Testperson 1	Arbeitsaufwand (Zeit) Testperson 2	Arbeitsaufwand (Zeit) Testperson 3
Waldbodentextur	42 Minuten	2 Stunden 52 Minuten	45 Minuten	25 Minuten	57 Minuten
Baumstamm	2 Stunden 42 Minuten	4 Stunden	2 Stunden 1 Minute	3 Stunden 42 Minuten	2 Stunden 23 Minuten
Walnuss	1 Stunde 40 Minuten	2 Stunden 20 Minuten	1 Stunde 41 Minuten	1 Stunde 57 Minuten	1 Stunde 15 Minuten
Charakter (Kopf)	1 Stunde 47 Minuten, aufgrund fehlendem Vergleichsresultat nicht Teil des durchschnittlichen Arbeitsaufwands	-(nicht messbar)-	8 Stunden 47 Minuten	10 Stunden 10 Minuten	8 Stunden 40 Minuten
Durchschnittlicher Arbeitsaufwand (gerundet) der ersten 3 Aufgaben	1 Stunde 41 Minuten	3 Stunden 44 Minuten	1 Stunde 29 Minuten	2 Stunden 1 Minuten	1 Stunde 32 Minuten

Tabelle 15: Zusammenfassung der Ergebnisse zum Zeitaufwand des praktischen Tests

6.3 Qualität der Endergebnisse

Als nächster Vergleichspunkt ist die Qualität der Ergebnisse der photogrammetrischen und traditionellen Methode relevant. Bei der Qualität der Endergebnisse soll bewertet werden, welche Methode ein ästhetisch ansprechenderes Modell erzeugt und welche der beiden Methoden zu einem realistischer wirkenden Ergebnis führt. Da diese Qualitätsbetrachtung sehr subjektiv ist, wurde eine quantitative Umfrage angefertigt, in der die verschiedenen Modelle von den Teilnehmern bewertet wurden.

Für die Umfrage wurden den Teilnehmern jeweils die drei Modelle, welche mit der traditionellen Methode angefertigt wurden, sowie das Modell, welches mit der photogrammetrischen Methode erstellt wurde, gezeigt. Für die traditionell erstellten Modelle wurden die Ergebnisse aus dem vorangegangenen praktischen Test verwendet. Der Umfrageteilnehmer sollte nun bewerten, welches Modell er optisch am ansprechendsten findet und welches Modell er am realistischsten empfindet. Außerdem sollten die Teilnehmer bewerten, wie erkennbar Wiederholungen der einzelnen Assets sind, wenn diese mehrfach im gleichen Bildausschnitt gezeigt werden. Dabei wurde es vermieden, dem Teilnehmer genauere Informationen zu den einzelnen Modellen zu geben, damit sie möglichst unvoreingenommen und nur anhand der Bilder bewerten. Um einen Vergleich zwischen der photogrammetrischen und der traditionellen 3D Modellierung ziehen zu können, wurden in der Auswertung der Verfasser des Modells und die verwendete Methode aufgezeigt. Dadurch soll ersichtlich werden, von welchem Testkandidat das Modell stammt beziehungsweise ob es unter Verwendung von Photogrammetrie Software erstellt wurde. Die Teilnehmer der Umfrage hingegen haben nur eine unspezifische Bezeichnung der einzelnen Modelle bekommen und keinen Hinweis über unterschiedliche Modellierungsmethoden.

Die Ergebnisse der Umfrage werden auf den folgenden Seiten detailliert dargelegt.

6.3.1 Erste Seite der Umfrage: Walnussmodelle



Abbildung 16: Walnussmodelle

- Walnuss Reihe 1 und 2 links: Testperson 2
- Walnuss Reihe 1 und 2 zweite von links: Photogrammetrische Methode
- Walnuss Reihe 1 und 2 zweite von rechts: Testperson 1
- Walnuss Reihe 1 und 2 rechts: Testperson 3

Bewertung der ästhetischen Qualität der Walnuss Modelle

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Anzahl an Antworten
Walnuss Testperson 2	2	9	35	55	54	22	177
Walnuss Photogrammetrische Methode	107	51	11	1	2	5	177
Walnuss Testperson 1	9	68	69	25	5	2	178
Walnuss Testperson 3	7	9	32	55	43	31	177

Tabelle 16: Ergebnisse zur Bewertung der ästhetischen Qualität der Walnuss Modelle, in absoluten Zahlen

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Durchschnitts-note
Walnuss Testperson 2	1,1%	5,1%	19,8%	31,1%	30,5%	12,4%	4,22
Walnuss Photogrammetrische Methode	60,5%	28,8%	6,2%	0,6%	1,1%	2,8%	1,62
Walnuss Testperson 1	5,1%	38,2%	38,8%	14,0%	2,8%	1,1%	2,75
Walnuss Testperson 3	4,0%	5,1%	18,1%	31,1%	24,3%	17,5%	4,19

Tabelle 17: Ergebnisse zur Bewertung der ästhetischen Qualität der Walnuss Modelle, in Prozent

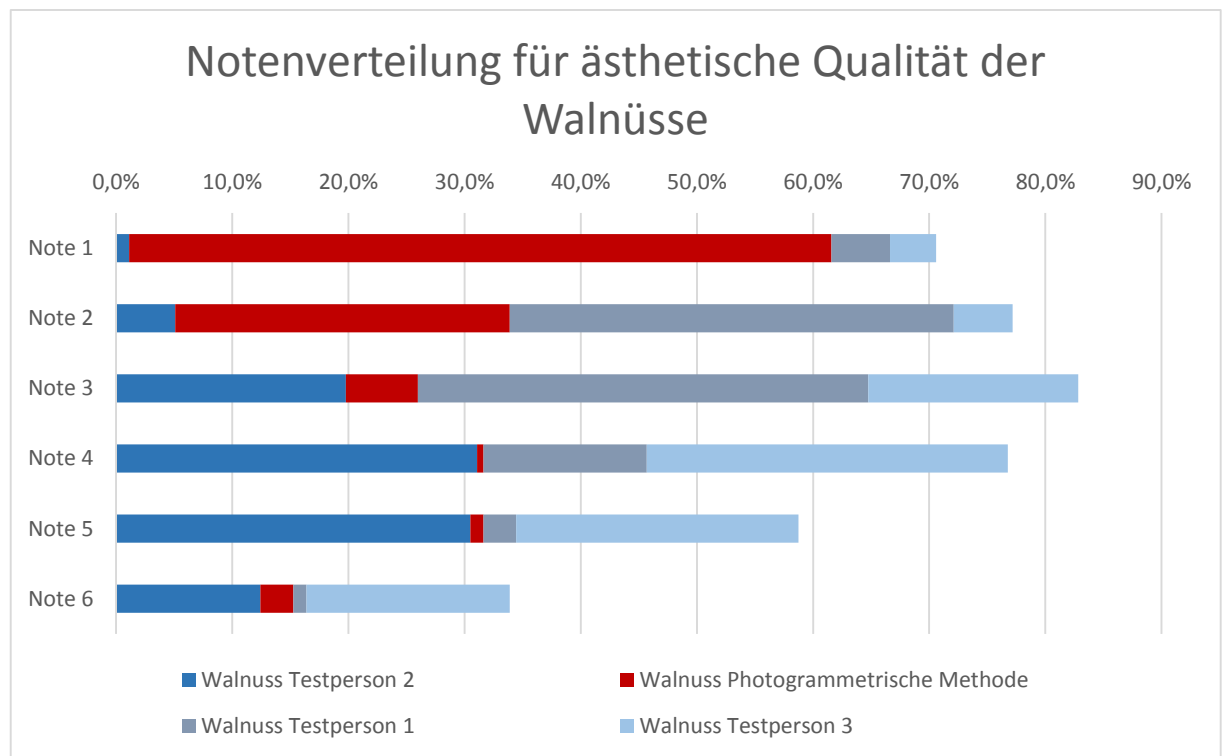


Abbildung 17: Notenverteilung für ästhetische Qualität der Walnüsse

Erreichter Grad an Realismus der vier verschiedenen Walnussmodelle

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Anzahl an Antworten
Walnuss Testperson 2	1	7	29	45	56	39	177
Walnuss Photogrammetrische Methode	98	58	14	4	0	3	177
Walnuss Testperson 1	7	56	70	26	13	6	178
Walnuss Testperson 3	3	1	22	56	49	46	177

Tabelle 18: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Walnuss Modelle, in absoluten Zahlen

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Durchschnittsnote
Walnuss Testperson 2	0,6%	4,0%	16,4%	25,4%	31,6%	22,0%	4,50
Walnuss Photogrammetrische Methode	55,4%	32,8%	7,9%	2,3%	0,0%	1,7%	1,64
Walnuss Testperson 1	3,9%	31,5%	39,3%	14,6%	7,3%	3,4%	3,00
Walnuss Testperson 3	1,7%	0,6%	12,4%	31,6%	27,7%	26,0%	4,61

Tabelle 19: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Walnuss Modelle, in Prozent Zahlen

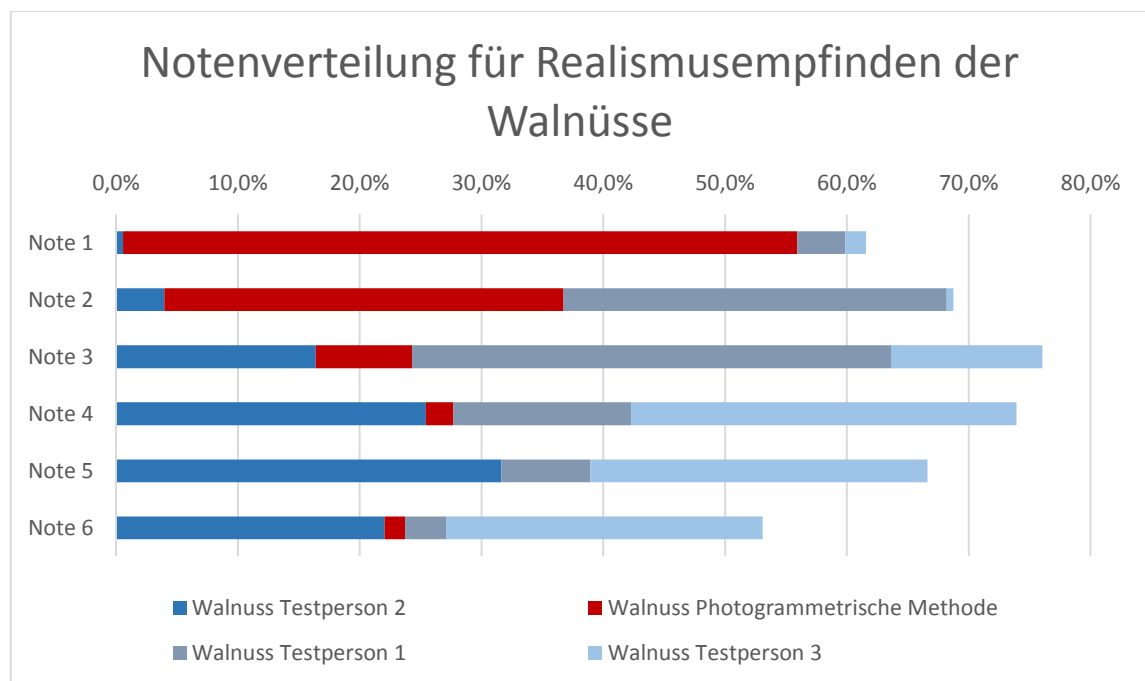


Abbildung 18: Notenverteilung für Realismusempfinden der Walnüsse

6.3.2 Zweite Seite der Umfrage: Bodentexturen

Textur 1: Photogrammetrische Methode



Abbildung 19: Textur Photogrammetrische Methode

Textur 2: Testperson 2



Abbildung 20: Textur Testperson 2

Textur 3: Testperson 1



Abbildung 21: Textur Testperson 1

Textur 4: Testperson 3



Abbildung 22: Textur Testperson 3

Bewertung der ästhetischen Qualität der kachelbaren Bodentexturen

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Anzahl an Antworten
Textur Photogrammetrische Methode	77	71	15	8	6	1	178
Textur Testperson 2	27	67	47	23	11	3	178
Textur Testperson 1	33	49	48	29	15	3	177
Textur Testperson 3	31	66	54	16	8	3	178

Tabelle 20: Ergebnisse zur Bewertung der Ästhetik der Bodentexturen, in absoluten Zahlen

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Durchschnitts-note
Textur Photogrammetrische Methode	43,3%	39,9%	8,4%	4,5%	3,4%	0,6%	1,87
Textur Testperson 2	15,2%	37,6%	26,4%	12,9%	6,2%	1,7%	2,62
Textur Testperson 1	18,6%	27,7%	27,1%	16,4%	8,5%	1,7%	2,73
Textur Testperson 3	17,4%	37,1%	30,3%	9,0%	4,5%	1,7%	2,51

Tabelle 21: Ergebnisse zur Bewertung der Ästhetik der Bodentexturen, in Prozent Zahlen

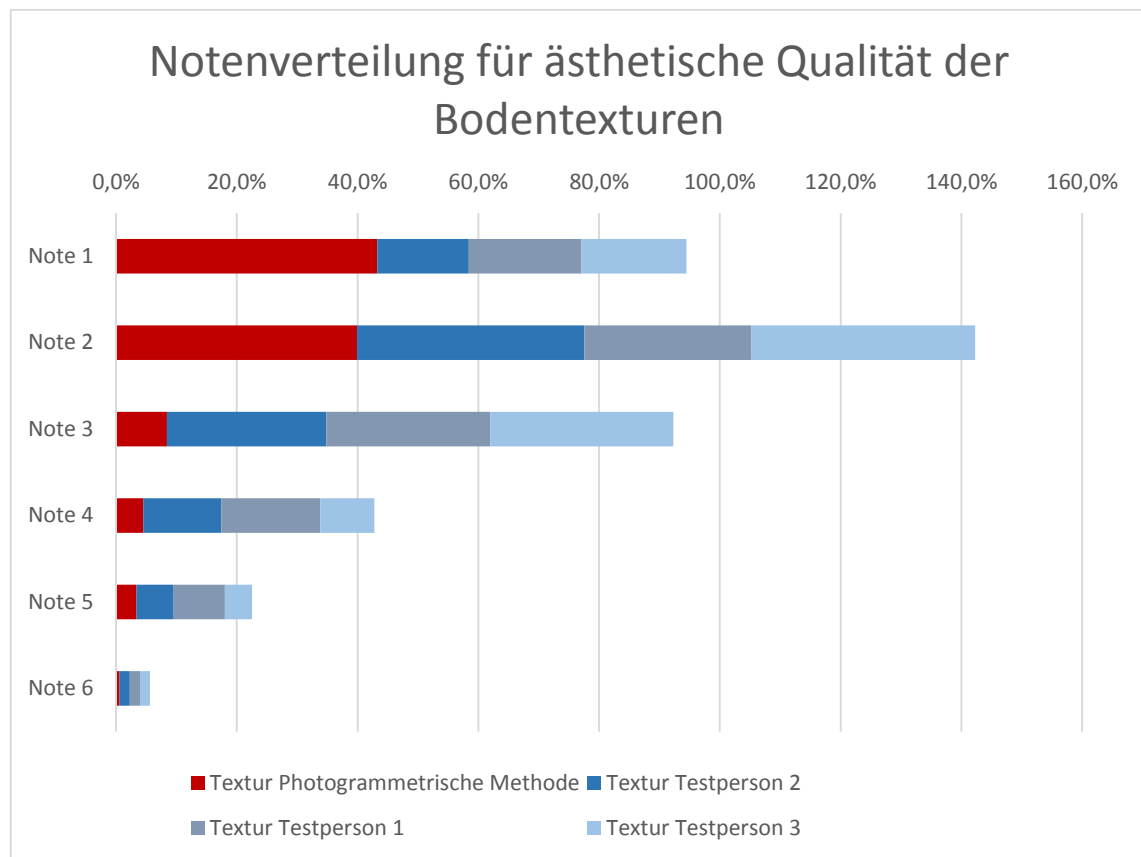


Abbildung 23: Notenverteilung für ästhetische Qualität der Bodentexturen

Erreichter Grad an Realismus der Bodentexturen

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Anzahl an Antworten
Textur Photogrammetrische Methode	93	71	6	0	3	2	175
Textur Testperson 2	46	56	46	16	9	2	175
Textur Testperson 1	28	55	42	29	19	4	177
Textur Testperson 3	22	52	60	30	8	4	176

Tabelle 22: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Bodentexturen, in absoluten Zahlen

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Durchschnitts-note
Textur Photogrammetrische Methode	53,1%	40,6%	3,4%	0,0%	1,7%	1,1%	1,60
Textur Testperson 2	26,3%	32,0%	26,3%	9,1%	5,1%	1,1%	2,38
Textur Testperson 1	15,8%	31,1%	23,7%	16,4%	10,7%	2,3%	2,82
Textur Testperson 3	12,5%	29,5%	34,1%	17,0%	4,5%	2,3%	2,78

Tabelle 23: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Bodentexturen, in Prozent Zahlen

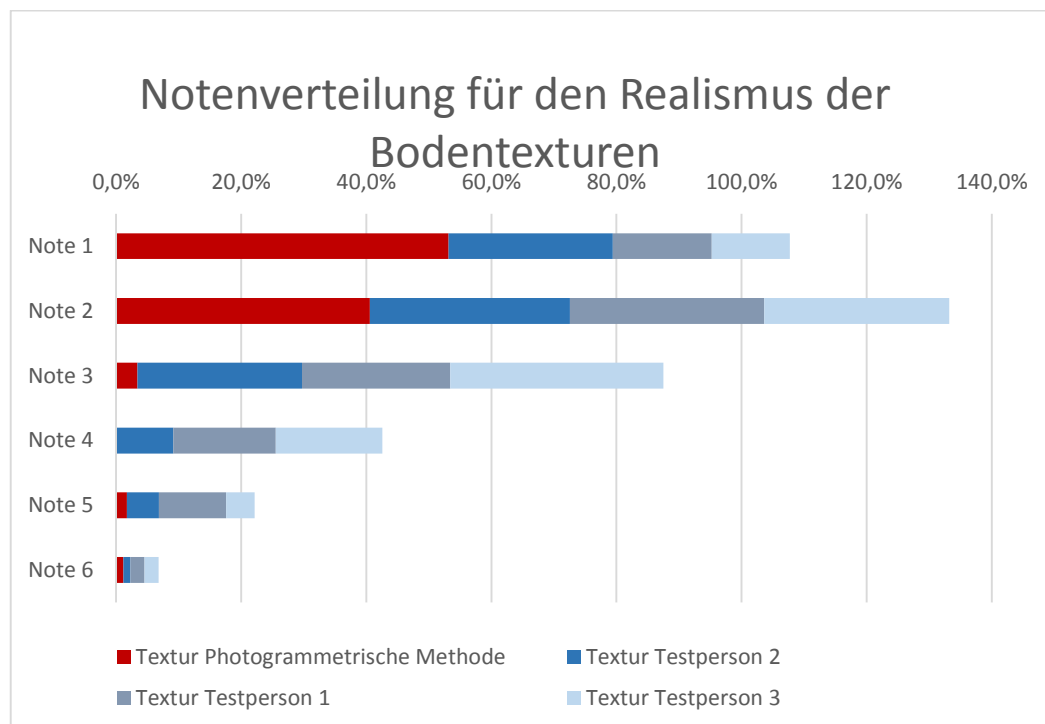


Abbildung 24: Notenverteilung für den Realismus der Bodentexturen

Bewertung der Kachelbarkeit der 4 verschiedenen Bodentexturen

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Anzahl an Antworten
Textur Photogrammetrische Methode	88	61	16	7	3	1	176
Textur Testperson 2	32	40	44	28	19	15	178
Textur Testperson 1	49	60	39	16	8	5	177
Textur Testperson 3	17	20	32	40	46	23	178

Tabelle 24: Ergebnisse zur Bewertung der Kachelbarkeit der Bodentexturen, in absoluten Zahlen

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Durchschnitts-note
Textur Photogrammetrische Methode	50,0%	34,7%	9,1%	4,0%	1,7%	0,6%	1,74
Textur Testperson 2	18,0%	22,5%	24,7%	15,7%	10,7%	8,4%	3,04
Textur Testperson 1	27,7%	33,9%	22,0%	9,0%	4,5%	2,8%	2,37
Textur Testperson 3	9,6%	11,2%	18,0%	22,5%	25,8%	12,9%	3,83

Tabelle 25: Ergebnisse zur Bewertung der Kachelbarkeit der Bodentexturen, in Prozent Zahlen

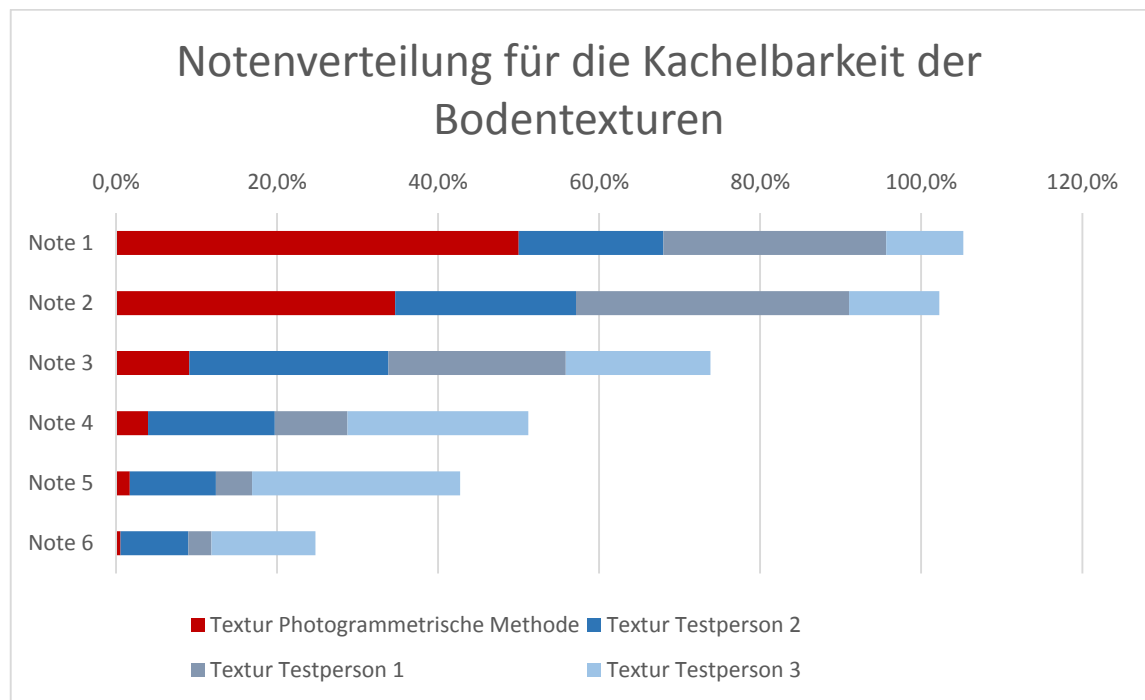


Abbildung 25: Notenverteilung für die Kachelbarkeit der Bodentexturen

6.3.3 Dritte Seite der Umfrage: Baumstammmodelle



Abbildung 26: Baumstammmodelle

- links: Testperson 2
- zweite von links: Testperson 3
- zweite von rechts: Testperson 1
- rechts: Photogrammetrische Methode

Bewertung der ästhetischen Qualität der Baumstammmodelle

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Anzahl an Antworten
Baumstammmodell Testperson 2	6	42	70	36	17	4	175
Baumstammmodell Testperson 3	19	71	63	13	7	2	175
Baumstammmodell Testperson 1	4	23	40	55	37	16	175
Baumstammmodell Photogrammetrische Methode	100	50	18	2	3	2	175

Tabelle 26: Ergebnisse zur Bewertung der Ästhetik der Baumstammmodelle, in absoluten Zahlen

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Durchschnitts-note
Baumstammmodell Testperson 2	3,4%	24,0%	40,0%	20,6%	9,7%	2,3%	3,16
Baumstammmodell Testperson 3	10,9%	40,6%	36,0%	7,4%	4,0%	1,1%	2,57
Baumstammmodell Testperson 1	2,3%	13,1%	22,9%	31,4%	21,1%	9,1%	3,83
Baumstammmodell Photogrammetrische Methode	57,1%	28,6%	10,3%	1,1%	1,7%	1,1%	1,65

Tabelle 27: Ergebnisse zur Bewertung der Ästhetik der Baumstammmodelle, in Prozent Zahlen

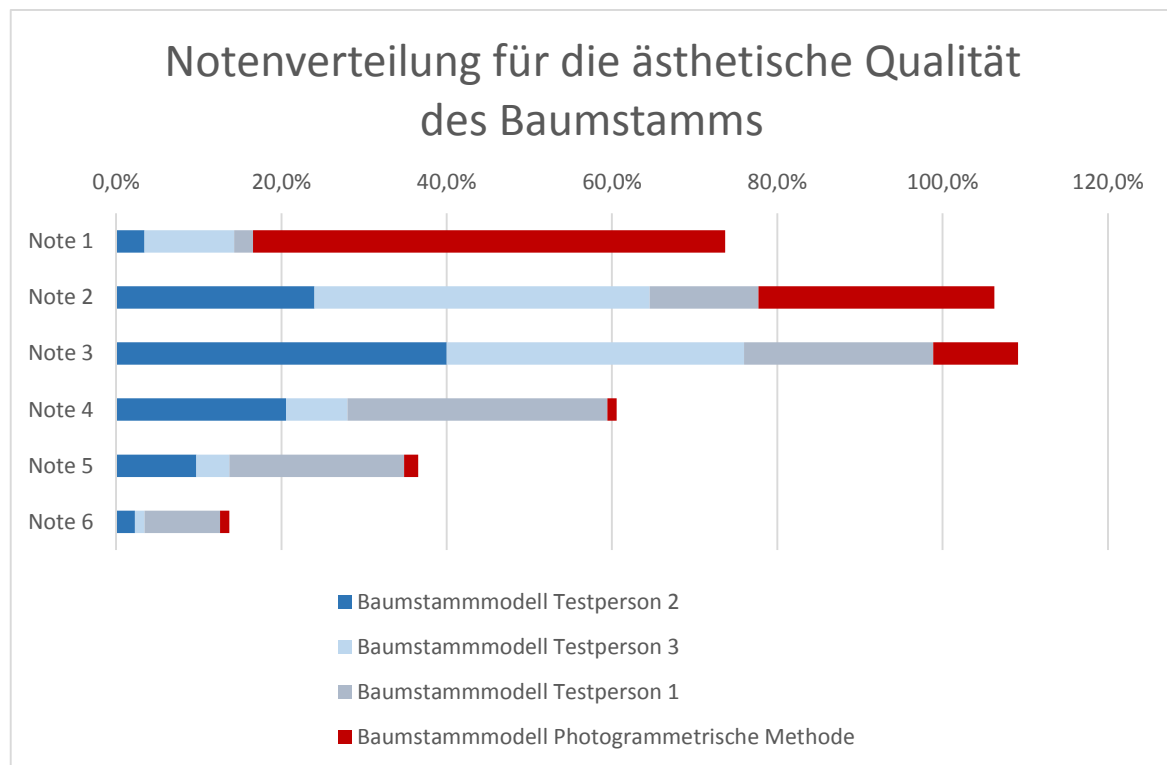


Abbildung 27: Notenverteilung für die ästhetische Qualität des Baumstamms

Erreichter Grad an Realismus der Baumstammmodelle

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Anzahl an Antworten
Baumstammmodell Testperson 2	7	26	62	40	29	12	176
Baumstammmodell Testperson 3	14	76	54	25	5	2	176
Baumstammmodell Testperson 1	5	24	36	53	33	25	176
Baumstammmodell Photogrammetrische Methode	98	55	12	3	3	4	175

Tabelle 28: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Baumstammmodelle, in absoluten Zahlen

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Durchschnittsnote
Baumstammmodell Testperson 2	4,0%	14,8 %	35,2 %	22,7 %	16,5 %	6,8%	3,53
Baumstammmodell Testperson 3	8,0%	43,2 %	30,7 %	14,2 %	2,8%	1,1%	2,64
Baumstammmodell Testperson 1	2,8%	13,6 %	20,5 %	30,1 %	18,8 %	14,2 %	3,91
Baumstammmodell Photogrammetrische Methode	56,0 %	31,4 %	6,9%	1,7%	1,7%	2,3%	1,69

Tabelle 29: Ergebnisse zur Bewertung des Realismus Grades der Baumstammmodelle, in Prozent Zahlen

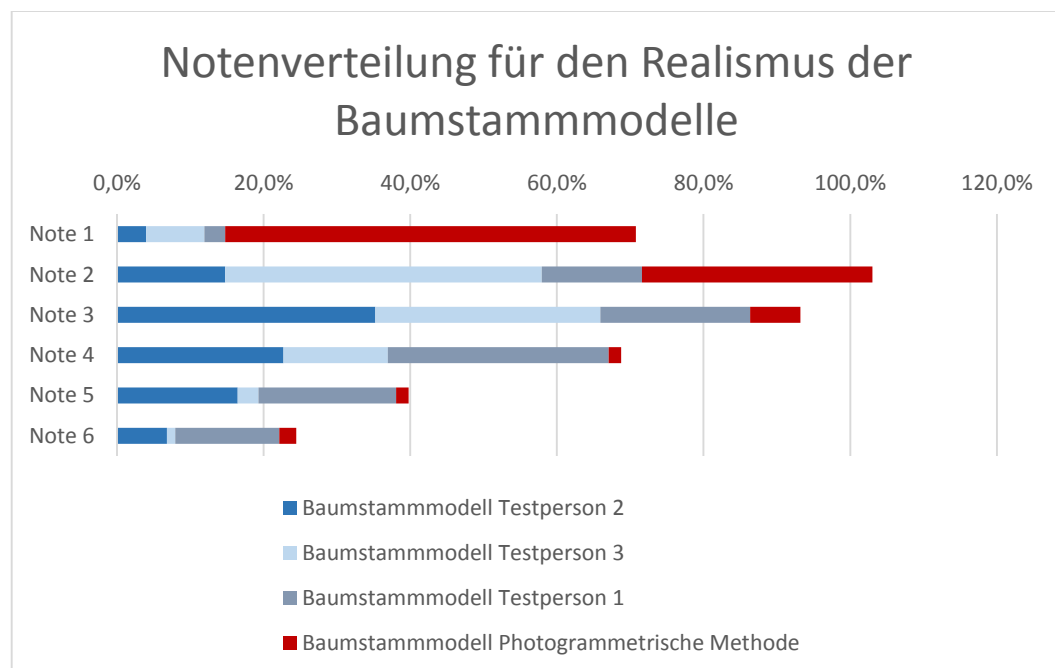


Abbildung 28: Notenverteilung für den Realismus der Baumstammmodelle

6.3.4 Vierte Seite der Umfrage: Mehrfachverwendung der Baumstammmodelle

Mehrfachverwendung Anordnung 1: Baumstammmodell Testperson 1



Abbildung 29: Szene Baumstammmodell 1

Mehrfachverwendung Anordnung 2: Baumstammmodell Testperson 2



Abbildung 30: Szene Baumstammmodell 2

Mehrfachverwendung Anordnung 3: Baumstammmodell Photogrammetrische Methode



Abbildung 31: Szene Baumstammmodell Photogrammetrie

Mehrfachverwendung Anordnung 4: Baumstammmodell Testperson 3



Abbildung 32: Szene Baumstammmodell 3

Bewertung der Unauffälligkeit der mehrfachen Verwendung des Baumstammes

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Anzahl an Antworten
Baumstammmodell Testperson 1	1	20	33	31	53	38	176
Baumstammmodell Testperson 2	4	22	50	46	39	16	177
Baumstammmodell Photogrammetrische Methode	3	31	50	42	34	17	177
Baumstammmodell Testperson 3	23	82	35	29	4	4	177

Tabelle 30: Ergebnisse zur Bewertung der Mehrfachverwendung der Baumstammmodelle, in absoluten Zahlen

	Note 1	Note 2	Note 3	Note 4	Note 5	Note 6	Durchschnittsnote
Baumstammmodell Testperson 1	0,6%	11,4%	18,8%	17,6%	30,1%	21,6%	4,30
Baumstammmodell Testperson 2	2,3%	12,4%	28,2%	26,0%	22,0%	9,0%	3,80
Baumstammmodell Photogrammetrische Methode	1,7%	17,5%	28,2%	23,7%	19,2%	9,6%	3,70
Baumstammmodell Testperson 3	13,0%	46,3%	19,8%	16,4%	2,3%	2,3%	2,55

Tabelle 31: Ergebnisse zur Bewertung der Mehrfachverwendung der Baumstammmodelle, in Prozent Zahlen

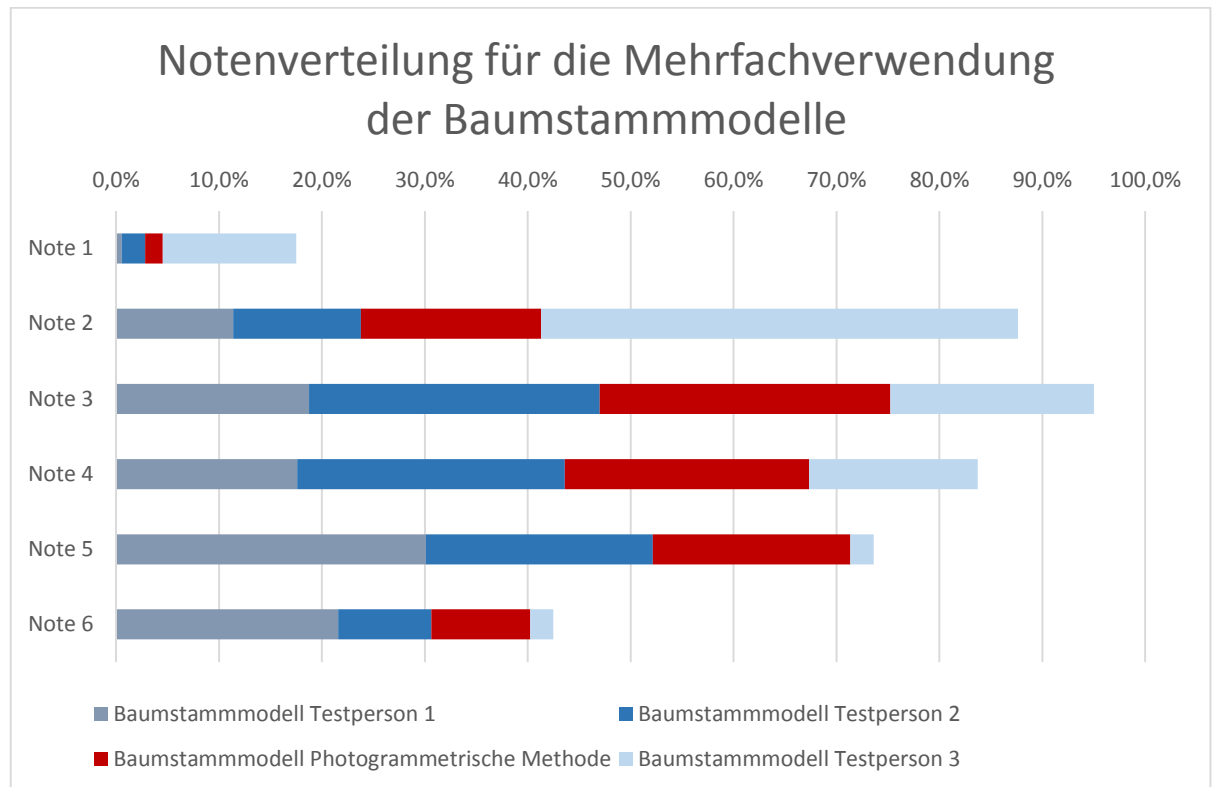


Abbildung 33: Notenverteilung für die Mehrfachverwendung der Baumstammmodelle

6.4 Notwendige Arbeitsgeräte

Als letzten Gegenüberstellungspunkt ist es noch interessant zu betrachten, welche Arbeitsgeräte notwendig sind, um das jeweilige Verfahren zu nutzen.

Traditionelle Methode

Um herauszufinden, welche Arbeitsgeräte und Investitionen notwendig sind, um Modelle mit dem traditionellen Verfahren anzufertigen, wurde ausgewertet, welche Programme die Testpersonen für die Erstellung der Testmodelle verwendet haben.

Testperson Frage	Ergebnisse Testperson 1	Ergebnisse Testperson 2	Ergebnisse Testperson 3
Mindestanforderungen an den Computer	Minimum: - Dual Core Prozessor - 4 Gigabyte Ram - Grafikkarte ⁵²⁵³	Minimum: - Dual Core Prozessor - 4 Gigabyte Ram - Mittelklasse Grafikkarte	Minimum: - Dual Core Prozessor - 4 Gigabyte Ram - dedizierte Grafikkarte
Zusätzliche Hardware (Tablet, Kamera, spezielle Maus, etc.)	- Maus - Tastatur	- Maus - Tastatur - Grafiktablet	- Maus - Keyboard - Grafiktablet ⁵⁴ <small>55</small>

⁵² Autodesk Inc. (Hrsg.): System requirements for Autodesk 3ds Max and Autodesk 3ds Max Design 2015, in Autodesk Knowledge Network, <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-3ds-Max-2015.html> (Zugriff am 05.02.2015)

⁵³ Pixologic (Hrsg.): System Requirements, <http://pixologic.com/zbrush/system/> (Zugriff am 5.02.2015)

⁵⁴ Pixologic (Hrsg.): System Requirements, <http://pixologic.com/zbrush/system/> (Zugriff am 5.02.2015)

⁵⁵ Autodesk Inc. (Hrsg.): System requirements for Autodesk 3ds Max and Autodesk 3ds Max Design 2015, in Autodesk Knowledge Network, <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-3ds-Max-2015.html> (Zugriff am 05.02.2015)

Benötigte Software	- 3ds Max	- 3ds Max	- 3ds Max
	- Zbrush	- Zbrush	- Zbrush
	- Xnormal	- Xnormal	- Mudbox
	- Photoshop	- Photoshop	- Xnormal
	- CrazyBump	- CrazyBump	- Photoshop
			- CrazyBump

Tabelle 32: Übersicht der benötigten Arbeitsgeräte für den Test zur traditionellen Modellierung

Photogrammetrische Methode

Für die photogrammetrische Methode lässt sich das notwendigen Arbeitsgeräte anhand der durchgeführten Tests ermitteln, sowie durch Aussagen von Studios, welche Photoscan für die professionelle Erstellung von 3D Modellen verwenden, erweitert.

Testperson	Aufnahmen im Freien, kleinere bis mittelgroße Gegenstände
Frage	
Mindestanforderungen an den Computer	<p>Minimum: ⁵⁶</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quad Core Cpu mit 3 Ghz oder mehr - 16 Gigabyte Ram - Open CL fähige Grafikkarte (optional) <p>in Extremfällen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bis zu 1TB Ram, zum Öffnen der komplexen und großen Photoscan Szenen⁵⁷

⁵⁶ Agisoft LLC (Hrsg.): System Requirements, <http://www.agisoft.com/downloads/system-requirements/> (Zugriff am 1.02.2015)

⁵⁷ Dan Crawley, Get Even keeps you guessing who's human and who's A.I. in ist ultrarealistic scanned environments, in VentureBeat, 20.11.2014, <http://venturebeat.com/2014/11/20/get-even/> (Zugriff am 5.02.2015)

	<ul style="list-style-type: none"> - Renderfarm, um die längeren Berechnungen bei der Generierung des 3D Modells aus den ⁵⁸ Photographien möglichst schnell durchführen zu können⁵⁹
Zusätzliche Hardware (Tablet, Kamera, spezielle Maus, etc.)	<p>Allgemein: ⁶⁰</p> <ul style="list-style-type: none"> - Digitalkamera mit mindestens 5 Megapixel, - ein Stativ - ggf. eine Fernbedienung als Fernauslöser, um die Kamera während langer Belichtungszeiten nicht zu verwackeln <p>Zusätzlich:</p> <p>Für Landschaften und große Gebäude: ^{61 62}</p> <ul style="list-style-type: none"> - Möglichkeit Aufnahmen aus der Luft zu schießen mittels einer Drohne oder ähnlichem <p>Für Studioaufnahmen unbeweglicher Objekte: ⁶³</p> <ul style="list-style-type: none"> - Studioleuchten - Drehteller - Halterung für Objekte

⁵⁸ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, Veröffentlichungsdatum: 2014

⁵⁹ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, Veröffentlichungsdatum: 2014

⁶⁰ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, Veröffentlichungsdatum: 2014

⁶¹ Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, Veröffentlichungsdatum: 2014

⁶² Dan Crawley, Get Even keeps you guessing who's human and who's A.I. in ist ultrarealistic scanned environments, in VentureBeat, 20.11.2014, <http://venturebeat.com/2014/11/20/get-even/> (Zugriff am 5.02.2015)

⁶³ ClassyDogFilms(Hrsg.): PhotoScan Guide Part 2: Turntable Tutorial!, Veröffentlicht auf Youtube am 25.11.2014, https://www.youtube.com/watch?v=9_F-b2hxP_o (Zugriff am 4.02.2015)

	Für komplexere Studioaufnahmen, wie Charaktere ⁶⁴ <ul style="list-style-type: none">- 360° Studiosetup mit mehreren Kameras- Studioleuchten- Elektronik zur synchronen Auslösung aller Kameras
Benötigte Software	<ul style="list-style-type: none">- Agisoft Photoscan- Photoshop- Sculpting/3D Modellierungsprogramm Programm- XNormal

Tabelle 33: Übersicht der benötigten Arbeitsgeräte für den Test zur Modellierung mit Photogrammetrie Software

⁶⁴ Infinte Realities Ltd. (Herausg.): Technology, <http://ir-ltd.net/technology/> (Zugriff am 1.02.2015)

7 Auswertung der Gegenüberstellung

7.1 Ergebnisse Einsatzmöglichkeit

Während bei der traditionellen Methode nahezu alle Gegenstände dargestellt werden können, wird die photogrammetrische Methode durch die Limitierungen der Software begrenzt. Ob es sich daher für eine Echtzeit-Rendering Anwendung effektiv lohnt, photogrammetrische Methoden zu verwenden, hängt stark von den Möglichkeiten der Software ab. Neben der offensichtlichen Voraussetzung, dass das Objekt mithilfe von Photographie abbildbar sein muss, spielt die Oberflächenbeschaffenheit des Objekts für die Eignung eine große Rolle. Schon während der Planungsphase eines Projekts sollte die Eignung der Objekte überprüft werden, bevor man sich für oder gegen die photogrammetrische Methode entscheidet.

7.2 Ergebnisse Zeitaufwand

In den folgenden Unterpunkten werden die Ergebnisse aus dem praktischen Test zum Zeitaufwand erläutert und ausgewertet. Die zugehörigen Daten sind im vorausgehenden Kapitel der Ergebnispräsentation beziehungsweise in den Testprotokolldokumenten im Anhang zu finden.

7.2.1 Zeitaufwand des Arbeitsschritts Akquirierung von Referenzbildern

Dieser Abschnitt der Arbeit bezieht sich auf die Ergebnisse und Tabellen aus Kapitel 6.2.1.

Die erste Tabelle zeigt die detaillierten Aufzeichnungen zur Referenzbild-Akquirierung aus dem Testprotokoll der photogrammetrischen Methode. Hierbei werden in der zweiten Spalte die einzelnen Teilschritte und ihre individuelle Bearbeitungsdauer angegeben. Dabei ist zu beachten, dass die Zeiten für die automatischen Berechnungen durch den Computer für diesen Vergleich nicht mit einbezogen werden. Anhand der Ergebnisse lässt sich ablesen, dass das tatsächliche Erstellen der Photographien in den meisten Fällen nur etwa die Hälfte des Zeitaufwands in jedem Testfall ausmacht.

Die folgende Tabelle zeigt die einzelnen Ergebnisse des Tests zur manuellen 3D Modellierung. Diese sind pro Testperson und pro Aufgabe gesondert aufgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass in 8 von 12 Fällen die manuelle Bearbeitung dieses Arbeitsschritts 10 Minuten oder weniger gedauert hat. Beim Vergleich der Ergebnisse aus der ersten und

zweiten Tabelle ist zudem ersichtlich, dass selbst die höchste Eintragung für den Zeitaufwand bei der manuellen Methode den geringsten Wert beim Photogrammetrie Test unterbietet.

Die letzte Tabelle des Abschnitts dient als eine Art Fazit des Arbeitsschritts. Hier werden die Durchschnittswerte aller Teilnehmer am Test zur manuellen Modellierung denen aus der photogrammetrischen Erstellung gegenüber gestellt. Anhand der Werte lässt sich ablesen, dass der Photogrammetrie Test in diesem Arbeitsschritt einen deutlich höheren Arbeitsaufwand erzeugt hat als dies bei dem manuellen Vergleichstest der Fall war.

7.2.2 Zeitaufwand des Arbeitsschritts Erstellung von hochauflösenden Modellen

Dieser Abschnitt der Arbeit bezieht sich auf die Ergebnisse und Tabellen aus Kapitel 6.2.2.

Die erste Tabelle zeigt die detaillierten Aufzeichnungen zur Erstellung der hochauflösenden Modelle aus dem Testprotokoll der photogrammetrischen Methode. Hierbei werden in der zweiten Spalte die einzelnen Teilschritte und ihre individuelle Bearbeitungsdauer angegeben. Anhand der Ergebnisse der Zweiten Spalte ist festzustellen, dass der überwiegende Anteil des Zeitaufwands dieses Arbeitsschritts in die Sichtung und Korrektur des Referenzmaterials investiert wurde. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Qualität der Referenzbilder nicht optimal war.

Die zweite Tabelle zeigt die einzelnen Ergebnisse des Arbeitsschritts Erstellung von hochauflösenden Modellen bei der manuellen 3D Modellierung. Diese sind pro Testperson und pro Aufgabe gesondert aufgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass alle drei Teilnehmer in der ersten Aufgabe kein hochauflöstes Modell erstellt haben und damit dieser Arbeitsschritt eingespart werden konnte. Bei allen anderen Aufgaben ist der Zeitaufwand von Testperson zu Testperson sehr unterschiedlich.

Die letzte Tabelle des Abschnitts stellt die Ergebnisse des Arbeitsschritts in einen direkten Vergleich zwischen manueller und photogrammetrischer Arbeitsweise. Hier werden die Durchschnittswerte aller Teilnehmer am Test zur manuellen Modellierung denen aus der photogrammetrischen Erstellung gegenüber gestellt. In der ersten Aufgabe liegt die traditionelle Methode im Zeitaufwand deutlich unter der photogrammetrischen, da es den Testpersonen gelungen ist, diesen Arbeitsschritt vollständig einzusparen. Bei den Ergebnissen der Aufgabe zwei und drei unterscheiden sich die Arbeitszeiten beider Methoden um kaum mehr als 10 Minuten. Der Unterschied beim durchschnittlichen Arbeitsaufwand liegt bei lediglich einer Minute. Bei der vierten Aufgabe ist der Unterschied al-

lerdings sehr deutlich mit 5 Stunden und 20 Minuten für die traditionelle und nur 40 Minuten für die photogrammetrische Bearbeitung des Arbeitsschrittes. Jedoch muss hierbei angemerkt werden, dass der Vergleich der beiden Methoden in Aufgabe 4 an dieser Stelle abgebrochen wurde, da der Photogrammetrie Test keine nutzbaren Ergebnisse lieferte. Damit ist Aufgabe 4 ab diesem Abschnitt auch nicht mehr im Durchschnitt und direkten Vergleich der Methoden berücksichtigt.

7.2.3 Zeitaufwand des Arbeitsschritts Retopologisierung des hochaufgelösten Modells

Dieser Abschnitt der Arbeit bezieht sich auf die Ergebnisse und Tabellen aus Kapitel 6.2.3.

Die erste Tabelle zeigt die detaillierten Aufzeichnungen zur Retopologisierung des hochaufgelösten Modells aus dem Testprotokoll der photogrammetrischen Methode. Hierbei werden in der zweiten Spalte die einzelnen Teilschritte und ihre individuelle Bearbeitungsdauer angegeben. Die Aufzeichnungen zu den Teilschritten verdeutlichen, dass die Vorgehensweise, in diesem Fall, bei allen Tests gleich war.

Die zweite Tabelle zeigt Ergebnisse der Aufgaben zum Arbeitsschritt Retopologisierung des hochaufgelösten Modells bei der manuellen 3D Modellierung. Diese sind pro Testperson und pro Aufgabe gesondert aufgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass alle 3 Teilnehmer in der ersten Aufgabe wieder den kompletten Arbeitsschritt einsparen konnten. Bei allen anderen Aufgaben ist der Zeitaufwand von Testperson zu Testperson sehr unterschiedlich, wobei auffällig ist, dass Testperson 3 auch bei den Aufgaben zwei und drei diesen Arbeitsschritt auslassen konnte.

Die letzte Tabelle des Abschnitts stellt die Ergebnisse des Arbeitsschritts in einen direkten Vergleich zwischen manueller und photogrammetrischer Arbeitsweise. Hier werden die Durchschnittswerte aller Teilnehmer am Test zur manuellen Modellierung denen aus der photogrammetrischen Erstellung gegenüber gestellt. In der ersten Aufgabe liegt die traditionelle Methode im Zeitaufwand deutlich unter der photogrammetrischen, da es den Testpersonen gelungen ist, diesen Arbeitsschritt vollständig einzusparen. Der durchschnittliche Arbeitsaufwand liegt bei der Photogrammetrie um ungefähr 50 Prozent höher als bei der manuellen Modellierung.

7.2.4 Zeitaufwand des Arbeitsschritts Texturierung des retopologisierten 3D Modells

Dieser Abschnitt der Arbeit bezieht sich auf die Ergebnisse und Tabellen aus Kapitel 6.2.4.

Die erste Tabelle zeigt die detaillierten Aufzeichnungen aus dem Testprotokoll der photogrammetrischen Methode. Hierbei werden in der zweiten Spalte die einzelnen Teilschritte und ihre individuelle Bearbeitungsdauer angegeben. Auch in diesem Arbeitsschritt unterscheiden sich die Teilschritte der jeweiligen Aufgaben nur durch die Dauer ihrer Bearbeitung.

Die zweite Tabelle zeigt Ergebnisse der manuell bearbeiteten Aufgaben und listet diese pro Testperson und pro Aufgabe gesondert auf. Dieser Arbeitsschritt wurde bei keiner Testperson und Aufgabe ausgelassen. Auch hier ist der Zeitaufwand der jeweiligen Aufgabe von Person zu Person unterschiedlich, woran dies aber genau liegt, lässt sich selbst anhand der Beschreibung der Teilschritte im Testprotokoll nicht konkret feststellen.

Die letzte Tabelle des Abschnitts stellt die Ergebnisse in einen direkten Vergleich zwischen manueller und photogrammetrischer Arbeitsweise. In dieser Grafik werden die Durchschnittswerte aller Teilnehmer am Test zur manuellen Modellierung denen aus der photogrammetrischen Erstellung gegenüber gestellt. In diesem Arbeitsschritt fallen die Ergebnisse bei jeder Aufgabe unterschiedlich aus. Der durchschnittliche Arbeitsaufwand ist bei der manuellen Methode 40 Minuten und bei der photogrammetrischen Methode 47 Minuten, der Arbeitsaufwand für die Texturierung ist demnach unabhängig davon, ob die photogrammetrische oder die manuelle Methode verwendet wurde.

7.2.5 Zusammenfassung zur Ermittlung des Zeitaufwands im praktischen Test

Dieser Abschnitt der Arbeit bezieht sich auf die Ergebnisse und Tabellen aus Kapitel 0.

Die Tabelle in diesem Abschnitt gibt einen Gesamtüberblick über den Zeitaufwand für die unterschiedlichen Aufgaben im praktischen Test. Dazu wurden durchschnittliche manuelle Arbeitszeit, Arbeitszeit mit der photogrammetrischen Methode und der Arbeitsaufwand der einzelnen Testpersonen in die Tabelle aufgenommen. Besonders interessant ist hierbei der Vergleich der beiden ersten Spalten auf der untersten Zeile. Hier wird der durchschnittliche Arbeitsaufwand für photogrammetrische und manuelle Erstellung angezeigt. Dabei ist sehr deutlich, dass der Wert der Photogrammetrie Methode mehr als doppelt so hoch liegt wie bei der traditionellen 3D Modellierung. Zudem lässt sich an der

Tabelle ablesen, dass kein Testteilnehmer für eine Aufgabe länger gebraucht hat als die photogrammetrische Verfahrensweise. Den Ergebnissen dieses Tests nach zu urteilen ist also die photogrammetrische Methode in jedem Fall arbeitsintensiver als die manuelle Methode. In der anschließenden Auswertung zur Umfrage wird daher vor allem die Frage interessant sein, ob dieser erhöhte Aufwand auch zu besseren Ergebnissen geführt hat.

7.3 Ergebnisse der Umfrage

In den folgenden Unterpunkten werden die Ergebnisse aus der Umfrage zur Qualität der im praktischen Test erstellten Modelle erläutert und ausgewertet. Die zugehörigen Daten sind im vorausgehenden Kapitel der Ergebnispräsentation beziehungsweise in den Testprotokolldokumenten im Anhang zu finden. Für die Antworten der Umfrage war in jeder Aufgabe die Skala der Bewertung auf Eins bis Sechs festgelegt, wobei wie bei Schulnoten die Eins sehr gut und die Sechs sehr schlecht bedeutet.

7.3.1 Bewertungen der Walnussmodelle

Dieser Abschnitt der Arbeit bezieht sich auf die Ergebnisse und Tabellen aus Kapitel 6.3.1.

In diesem Teil der Umfrage wurden die Teilnehmer gebeten, die unterschiedlichen Walnussmodelle aus den praktischen Tests zu bewerten. Dafür sollten die Befragten angeben, wie gut sie die Ästhetik und den Realismus des 3D Modells einschätzen.

Die Ergebnisse dieser Bewertungen wurden mithilfe von Tabellen und Diagrammen veranschaulicht. Bei den Ergebnissen für die Frage nach der ästhetischen Qualität der Walnuss Modelle präsentiert die erste Tabelle die Verteilung der Bewertungseinheiten in absoluten Werten im Verhältnis zu den einzelnen Modellen. Die zweite Tabelle zeigt im Prinzip dieselben Informationen, jedoch sind die Vorkommen der einzelnen Noten in diesem Fall mit Prozentwerten aufgeführt und die Tabelle wurde um eine Spalte für die Durchschnittsnote des jeweiligen Modells erweitert. Die Durchschnittsnoten zeigen hier ganz klar, dass die photogrammetrische Methode die besten Bewertungen erzielen konnte, eine Durchschnittsnote von 1.62. Das Walnussmodell von Testperson 1 wurde am zweitbesten bewertet, einer Durchschnittsnote von 2,75, und ist damit nur 1,13 Punkte von der photogrammetrisch rekonstruierten Walnuss entfernt. Die Walnussmodelle der beiden anderen Testpersonen wurden mit Noten über 4 bewertet.

Das folgende Diagramm Abbildung 17 veranschaulicht die Verteilung der Noten auf photogrammetrisch und traditionell erstellte Modelle noch einmal. Die ähnliche, bläuliche

Färbung der Diagrammbalken, welche manuell erstellte Modelle repräsentieren, erleichtert es, die beiden Methoden voneinander zu differenzieren. Hieran ist erkennbar, wie dominant die Photogrammetrie Methode in der Bewertungsklasse 1 ist und wie wenige Bewertungen schlechter als 2 ausgefallen sind.

Die zweite Frage sollte feststellen, welchen Grad an Realismus die Teilnehmer den einzelnen Modellen zumessen. Die Aufbereitung der Ergebnisse in Form von Tabellen und Diagrammen (Abbildung 18) ist in diesem Fall analog zur vorherigen Frage. Die Durchschnittsnoten in der zweiten Tabelle sind im Vergleich zur Bewertung der Ästhetik aber alle niedriger ausgefallen, wobei relativ gesehen der Abstand der photogrammetrischen von der manuellen Methode größer geworden ist, die photogrammetrische Methode also auch hier ein deutlich besseres Ergebnis liefert als die manuelle Methode.

Interessant ist zudem, dass bei beiden Fragen keines der manuell erstellten Modelle mehr als zehn Prozent der Befragten überzeugen konnte, es mit einer Eins zu bewerten. Generell verteilen sich die Benotungen der Umfrageteilnehmer bei den traditionellen Modellen viel stärker auf das Bewertungsspektrum als es bei der Photogrammetrie der Fall ist. Daraus lässt sich schließen, dass sich die Befragten bei der Bewertung der photogrammetrisch erstellten Modelle größtenteils einig sind.

7.3.2 Bewertungen der Bodentexturen

Dieser Abschnitt der Arbeit bezieht sich auf die Ergebnisse und Tabellen aus Kapitel 6.3.2.

In diesem Teil der Umfrage wurden die Teilnehmer gebeten, die unterschiedlichen Bodentexturen anhand Ästhetik, Realismus und der Kachelbarkeit zu bewerten. Für die Ergebnisse der drei Fragestellungen wurden wie in den vorherigen Fällen zwei Tabellen und ein Diagramm erstellt. Die erste Tabelle zeigt die Verteilung der Abstimmungsergebnisse in absoluten Zahlen, die zweite Tabelle präsentiert sie in prozentualen Werten und bietet eine zusätzliche Spalte für die Durchschnittsnoten. Das Diagramm ist veranschaulicht die Verteilung noch einmal grafisch und fokussiert durch die Farbgebung vor allem die einfache Vergleichbarkeit der photogrammetrischen mit der manuellen Arbeitsweise.

Bei den Durchschnittsnoten der ästhetischen Qualität sind die manuell erstellten Exemplare diesmal alle weniger als eine Note von den Ergebnissen der photogrammetrischen Methode entfernt. Dies ist vor allem deswegen beachtenswert, da die Erstellung der Texturen diejenige Aufgabe war, bei der die Teilnehmer die größten Zeitersparnisse verbuchen konnten. Dies ergibt sich aus der Zusammenfassung der Zeitaufwandsanalyse. Eventuell könnte dies ein Szenario sein, bei dem die manuelle Modellierung gegenüber

der photogrammetrischen Methode in Bezug auf das Verhältnis von Ergebnis zu Arbeitsaufwand deutlich im Vorteil ist. Jedoch konnte keine der traditionell erstellten Texturen auch nur die Hälfte der Anzahl der Höchstbewertungen erreichen, die die photogrammetrisch erstellte Textur in der Umfrage erreichte.

Im Balkendiagramm Abbildung 23 wird auch nochmals ersichtlich, dass die Bewertung der Photogrammetrie Textur zu circa 80% gut bis sehr gut ausgefallen ist, wohingegen die manuell erstellten Texturen sich größtenteils im Bereich der guten bis zufriedenstellenden Bewertungen verorten. Dadurch lässt sich schlussfolgern, dass der Großteil der Befragten einen deutlichen Qualitätsunterschied empfindet.

Bei der Bewertung des Realismus des Modells hat sich, wie schon bei den Walnussmodellen, der Notenunterschied zwischen den zwei Methoden verstärkt. Dennoch haben sich die Durchschnittsnoten für die manuell erstellten Modelle nur um kleine Teilnotensprünge verschlechtert, bis auf die Textur der Testperson 2, die im Vergleich zur Ästhetik-Bewertung sogar Punkte zulegen konnte. Bei genauerer Betrachtung des Balkendiagramms Abbildung 24 zu den Umfrageergebnissen wird zudem ersichtlich, dass sich die photogrammetrische Methode in diesem Testfall nicht so deutlich von der traditionellen Konkurrenz absetzen kann.

Der letzte Faktor, anhand dessen die Bodentexturen bewertet werden sollten, war die Kachelbarkeit der Texturen. Kachelbar bedeutet, dass eine Textur nahtlos an ihre Kopie angehängt werden kann. Dies ist ein wichtiger Faktor, da Texturen dieser Art in der Regel auch immer gekachelt werden und dieser Effekt dem Zuschauer verborgen bleiben soll. Eine Bewertung mit Eins bedeutet in diesem Fall, dass die Kachelung der Textur nicht auffällt, wohingegen ein Sechs das Gegenteil bedeutet.

Interessanterweise hat die photogrammetrische Arbeitsweise auch diese Bewertung für sich entscheiden können, dicht gefolgt von der Textur von Testperson 1 mit etwa 0,6 Notenpunkten Abstand. Abbildung 25 zeigt wieder die Notenverteilung grafisch.

Aus den Ergebnissen dieses Abschnitts lässt sich schließen, dass es möglich ist, mit Photogrammetrie gekachelte Texturen zu erstellen, die sowohl qualitativ hochwertig als auch gut kachelbar sind.

7.3.3 Bewertungen der Baumstammmodelle

Dieser Abschnitt der Arbeit bezieht sich auf die Ergebnisse und Tabellen aus Kapitel 6.3.3.

Die Bewertungen der Baumstammmodelle erfolgte anhand der Faktoren Ästhetik, Realismus und der Unauffälligkeit der mehrfachen Verwendung des Modells in einem Bildausschnitt. Eine solche mehrfache Verwendung ist in Echtzeit-Rendering Anwendungen notwendig, um die Anzahl der unterschiedlichen Modelle zu begrenzen und damit die Leistung der Anwendung zu optimieren.

Die Ergebnisse der 3 Fragen wurden wieder auf die gleiche Art und Weise aufbereitet wie schon in den vorherigen Abschnitten. Daher wird direkt auf die Ergebnisse eingegangen und die Erläuterungen zur Formatierung ausgelassen.

Bei der Bewertung der Ästhetik hat auch in diesem Vergleich wieder die photogrammetrische Methode mit 1,65 die beste durchschnittliche Benotung erhalten. Das nächstbeste manuelle Ergebnis liegt mit 2,57 in der Bewertung allerdings weniger als eine Note zurück. Die schlechteste Benotung war eine 3,83 und damit über zwei Noten vom besten Ergebnis entfernt.

Im Balkendiagramm Abbildung 27 ist gut zu erkennen, dass über drei Viertel der Bestbewertungen an das photogrammetrische Modell gingen. Dieses wurde von 57,1 Prozent der Befragten mit Bestnote bewertet, wohingegen das nächst bessere manuelle Modell nur von 10,9 Prozent mit Bestnote ausgezeichnet wurde. Daran lässt sich erkennen, dass die Befragten zwischen diesen beiden Testfällen einen deutlichen Qualitätsunterschied feststellen können.

Die Resultate der Befragung zum Realismus der Modelle zeigen eine sehr ähnliche Verteilung der Benotungen wie die Ästhetik-Bewertung, siehe Abbildung 28. Der einzige nennenswerte Unterschied ist, dass sich alle Ergebnisse etwas verschlechtert haben; auch das photogrammetrisch konstruierte Modell wird hinsichtlich Realismus schlechter bewertet als hinsichtlich Ästhetik.

Die letzte Befragung bezog sich auf die Auffälligkeit der Modelle, wenn sie mehrfach im gleichen Bildausschnitt benutzt werden. Eine Höchstbewertung bedeutet hier, dass die Auffälligkeit der Dopplung des Modells sehr gering ist. Die Ergebnisse der Befragung bescheinigen der manuellen Modellierung die durchschnittliche Bestnote von 2,55, wie in der zweiten Tabelle zu sehen ist. Die photogrammetrische Methode hat mit einer durchschnittlichen Bewertung von 3,7 über einen Notenpunkt Abstand zur Bestplatzierung. Das schlechteste Ergebnis ist mit einer Note von 4,3 aber auch kaum mehr als eine halbe Note von der photogrammetrischen Methode entfernt. Im Balkendiagramm Abbildung 33 werden diese Ergebnisse noch einmal grafisch verdeutlicht.

7.4 Ergebnisse notwendige Arbeitsgeräte

Die Auflistung der notwendigen Arbeitsgeräte für beide Methoden zeigt recht deutlich, dass die Verwendung der photogrammetrischen Methode mit einer größeren Anzahl an Anschaffungen verbunden ist. Bei der traditionellen Methode wird nur ein Computer im Mittelklasse Bereich benötigt und dem Modellierer sollte ein Grafik Tablet zur Verfügung stehen. Der kostspieligste Investitionsposten bei der traditionellen Methode ergibt sich allerdings höchstwahrscheinlich aus den notwendigen Softwarelizenzen für die manuelle Erstellung von 3D Modellen.

Hier ist wiederum zu erkennen, dass auch bei der Erstellung von Modellen mittels des photogrammetrischen Verfahrens, zusätzlich zu der geeigneten Photogrammetrie Software, auch traditionelle 3D Modellierungssoftware zum Einsatz kommt, um die Ergebnisse der Rekonstruktion nachbearbeiten zu können. Des Weiteren wird für diese Methode ein weitaus leistungsstärkerer Rechner benötigt, in Extremfällen ist sogar eine Sonderanfertigung des Rechners oder eine Renderfarm notwendig, um die Methode effektiv nutzen zu können.

Zusätzlich werden für die photogrammetrische Methode noch weitere Arbeitsgeräte benötigt, um die Photographien, die später von der Software verarbeitet werden, zu erstellen. Hierbei sind die Investitionen Abhängig vom gewählten Objekt. Während allgemein mindestens eine Digitalkamera mit 5 Megapixel und ein Stativ notwendig ist, wird für größere Aufnahmen wie Landschaften oder Gebäude noch eine Drohne oder ähnliches benötigt, um Photographien aus der Luft aufnehmen zu können. Für komplexere Studioaufnahmen wird zusätzlich noch ein aufwändiger Aufbau von mehreren, synchron geschalteten Kameras, Studioleuchten und Elektronik benötigt, um qualitativ hochwertige Ergebnisse zu erzielen.

8 Fazit

Nachdem nun alle Ergebnisse der Tests präsentiert und ausgewertet wurden, ist es an der Zeit, eine Antwort auf die zielgebende Frage dieser Arbeit zu finden: In welchen Fällen ist es effektiver, die photogrammetrische Erstellung von 3D Modellen der traditionellen vorzuziehen?

Diese Frage kann jedoch nur sehr differenziert beantwortet werden. Daher wird im Folgenden keine konkrete Antwort formuliert, sondern eine Hilfestellung für die individuelle Entscheidungsfindung präsentiert.

Der erste Schritt bei der Entscheidungsfindung ist herauszufinden, ob die geplanten 3D Modelle überhaupt erfassbar sind, oder ob diese die Grenzen der Photogrammetrie Software überschreiten. Hier ist eine besonders detaillierte Planung erforderlich.

Zudem gilt bei der Planung zu beachten, welche Ausrüstung zur Aufnahme der Photographien vorhanden ist, beziehungsweise welche Art von Ausrüstung angeschafft werden könnte. Außenaufnahmen kleiner bis mittel großer Objekte und Innenaufnahme unbeweglicher Objekte lassen sich mit der grundlegendsten Ausrüstung realisieren, wie auch die praktischen Tests gezeigt haben. Jedoch sind für die photogrammetrische Erfassung von Menschen deutlich komplexere und kostspieligere Studioaufbauten notwendig, die für Privatpersonen und Amateure unerschwinglich wären.

Die Ergebnisse der praktischen Tests ergaben, dass die Verwendung von Photogrammetrie in allen getesteten Fällen zu einem deutlichen Anstieg des Zeitaufwands führte, in der Regel zwischen Faktor zwei und drei. Dafür erhielten die Ergebnisse der photogrammetrischen Methode von den Befragten hinsichtlich Ästhetik und Realismus stets eine Bestnote mit deutlicher Abgrenzung zu den manuell erstellten Modellen.

Entscheidendes Kriterium für oder gegen die Verwendung von Photogrammetrie ist, welcher Anspruch an die Qualität und den Realismus des Modells gestellt wird. Der Notenunterschied zur manuellen Modellierung ist in den Umfragen durchschnittlich etwa ein Notenschritt bei deutlich erhöhtem Aufwand. Aus diesem Grund kann es effektiver sein, mit traditionellen Methoden zu arbeiten, allerdings bringt der Zusatzaufwand für die photogrammetrische Erstellung durchaus eine messbare Qualitätssteigerung.

Im Falle der Erstellung von kachelbaren Texturen waren die Bewertungsunterschiede in der Umfrage relativ gering und gleichzeitig die Bearbeitungszeit für diese Texturen bei der photogrammetrischen Arbeitsweise mehr als dreimal so lang wie bei der traditionellen Modellierung. Daher lässt sich anhand dieser Ergebnisse sagen, dass die effektive

Einsatzmöglichkeit dieser Methode für Echtzeit-Rendering Anwendungen aufgrund des hohen Arbeitsaufwands zumindest für Texturen fraglich ist.

Die Photogrammetrie erzeugt also immer dann den größten Nutzen, wenn ein möglichst realistisches und detailgetreues 3D Modell gefragt ist und die Bearbeitungszeit ein sekundärer Faktor ist.

9 Ausblick

Im Fazit ist noch einmal klar geworden, dass die photogrammetrische Erstellung von Modellen nur in speziellen Fällen effektiv sein kann. Vor allem die technischen Limitierungen der Photogrammetrie Programme, schränken die Einsatzmöglichkeit stark ein. Hier wäre es sinnvoll weitere Forschungen anzustrengen um das Einsatzgebiet dieser Technik zu vergrößern.

Ein weitere zukünftiger Forschungspunkt wäre herauszufinden wie sich mit Photogrammetrie Programmen, zusätzlich zur Geometrie und Farbe auch die Reflektanz oder Lichtdurchlässigkeit, erfassen lassen. Dieser Faktor wurde in dieser Arbeit bewusst außen vor gelassen, jedoch wäre die Verbesserung essenziell, um die Rekonstruktionen realistisch rendern zu können.

Eine weitere kritische Forschungsfrage wäre die nähere Untersuchung der menschlichen Wahrnehmung von 3D Scans im Vergleich zu manuell erstellten 3D Modellen. In der Umfrage wurde dies zwar generell berücksichtigt, aber es wäre sinnvoll in diesem Bereich weitere und intensivere Studien anzustreben, zum Beispiel wie die Mischung beider Methoden in einer Szene wahrgenommen werden würde.

Literaturverzeichnis

Bücher und Ebooks

- Albrecht Julian Mayer: Virtual Texturing , Wien 14.10.2010
- Agisoft LLC (Hrsg.): Agisoft Photoscan User Manual: Professional Edition, Version 1.1, 2014
- Akenine-Möller Tomas, Haines Eric, Hoffman Naty : Real-Time Rendering Third Edition, USA 25.7.2008
- Angela, Tinwell: The Uncanny Valley in Games and Animation , 2015
- Dan Ablan: Digital Photography for 3D Imaging and Animation, Indianapolis USA 2015
- Donath, Dirk: Bauaufnahme und Planung im Bestand. Grundlagen – Verfahren – Darstellung – Beispiele, Wiesbaden 2008

Internetseiten

- Autodesk Inc, (Hrsg.): 3ds Max Help, 2013, in: <http://docs.autodesk.com/3DSMAX/15/ENU/3ds-Max-Help/index.html?url=files/GUID-14B36287-F9FB-4D92-98D3-A95D100DA296.htm,topicNumber=d30e394176> (Zugriff am 01.02.2015)
- Autodesk Inc. (Hrsg): Render to Texture, in Autodesk Knowledge Network, 6.12.2014, <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2015/ENU/3DSMax/files/GUID-76F1E8AE-9E8F-40A7-A948-471D17E09DA9-hm.html> (Zugriff am 01.02.2015)
- Autodesk Inc. (Hrsg.): System requirements for Autodesk 3ds Max and Autodesk 3ds Max Design 2015, in Autodesk Knowledge Network, <http://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-3ds-Max-2015.html> (Zugriff am 05.02.2015)
- Brandon Blizzard: The Art of Photogrammetry: How To Take Your Photos, in Tested, 19.02.2014, <http://www.tested.com/art/makers/460142-art-photogrammetry-how-take-your-photos/> (Zugriff am 10.01.2015)
- Changchang Wu: Visual SFM, <http://ccwu.me/vsfm/> (Zugriff am 12.02.2015)

-
- Dan Crawley: Get Even keeps you guessing who's human and who's A.I. in its ultrarealistic scanned environments, in Venture Beat, 20.11.2014, <http://venturebeat.com/2014/11/20/get-even/> (Zugriff am 05.01.2015)
 - Digitipps.ch (Hrsg.): Warum im RAW-Format fotografieren?, <http://www.digitipps.ch/fototechnik/raw-format-digitales-negativ.html> (Zugriff am 05.02.2015)
 - Edge Online (Hrsg.): Lens flair. The Astronauts on why photogrammetry could revolutionise game making for small teams, 24.02.2014, <http://www.edge-online.com/news/lens-flair-the-astronauts-on-why-photogrammetry-could-revolutionise-game-making-for-small-teams/#null> (Zugriff am 02.01.2015)
 - Flipped Normals (Hrsg.): ZBrush to modo – 32 bit Displacement, 2015, <http://flippednormals.com/tutorial/zbrush-modo-32-bit-displacement-2/> (Zugriff am 20.01.2015)
 - Infinte Realities Ltd. (Herausg.): Technology, <http://ir-ltd.net/technology/> (Zugriff am 1.02.2015)
 - Lee Perry: Scanning with IR, in Infinite Realities Blog, 16.08.2013, <http://ir-ltd.net/scanning-with-ir/> (Zugriff am 15.01.2015)
 - Pixologic (Hrsg.): System Requirements, <http://pixologic.com/zbrush/system/> (Zugriff am 5.02.2015)
 - Pixologic (Hrsg.): ZBrush 4R6 Online Documentation, Vector Displacement Maps, <http://docs.pixologic.com/user-guide/3d-modeling/exporting-your-model/vector-displacement-maps/>
 - Richard Whitelock: We have a world to scan, 07.02.2014, <http://blog.richard-whitelock.com/post/75906279337/we-have-a-world-to-scan>
 - Sebastian Kolar: Open-Source-Software: Die besten Helfer für jeden Zweck, 21.11.2014, in: <http://www.computerbild.de/artikel/cb-Ratgeber-Kurse-Software-Open-Source-Software-3272361.html> (Zugriff am 01.02.2015)

Bewegtes Bildmaterial

- ClassyDogFilms(Hrsg.): PhotoScan Guide Part 2: Turntable Tutorial!, Veröffentlicht auf Youtube am 25.11.2014, https://www.youtube.com/watch?v=9_F-b2hxP_o (Zugriff am 4.02.2015)
- Kojima Productions: GDC 2013 (Full Presentation), Zeitabschnitt 28:24- 28:29. Video bei Youtube veröffentlicht am 28.03.2013, <https://www.youtube.com/watch?v=QZFR4H4LORU> (Zugriff am 02.01.2015)
- Video Game Invasion: The History of a Global Obsession (USA 2004, David Carr und David Comtois, Fernsehfilm)

Anlagen

Testprotokoll zur photogrammetrische Erstellung von 3D Modellen

Protokoll zur Testdurchführung für die photogrammetrische Erstellung von 3D Modellen

Dieses Dokument dient zur Aufzeichnung der Teilschritte und ihrer Bearbeitungsdauer, für die Durchführung des photogrammetrischen Tests.

Arbeitsschritt 1: Akquirieren von Referenzbildern

Arbeitsaufwand Modell	Arbeitsaufwand Zwischenschritte	Gesamter Arbeitsaufwand
Waldbodentextur	<ul style="list-style-type: none"> Anfahrtszeit: 15 min Säuberung des Bodens (entfernen von zu großen Ästen und Müll): 10 min Zeit für das Erstellen der Fotos: 30 min Abfahrtszeit: 15 min 	1 Stunde 10 Minuten
Baumstamm mit Wurzel	<ul style="list-style-type: none"> Anfahrzeit: 15 min Wartezeit, bis die Lichtverhältnisse stimmen (keine direkte Sonnenanstrahlung): 15 min Erstellen der Fotos: 45 min Abfahrtszeit: 15 min 	1 Stunde 30 Minuten
Walnuss	<ul style="list-style-type: none"> Kaufen der Nuss: 10 min Aufbauen des Aufnahmesetups: 45 min Erstellen der Fotos: 15 min 	1 Stunde 10 Minuten

Charakter (Kopf)	<ul style="list-style-type: none"> • Vorbereitung der Person für die Fotos (haut leicht mattieren, Haare zurück binden, Pose und Klamotten vorbereiten): 20 min • Aufbauen des Studiosetups: 10 min • Erstellen der Fotos: 20 min 	50 Minuten
-------------------------	--	------------

Arbeitschritt 2: Erstellen von hochaufgelösten Modellen

Arbeitsaufwand Modell	Arbeitsaufwand Zwischenschritte	Gesamter Arbeitsaufwand
Waldbodentextur	<ul style="list-style-type: none"> • Adobe Lightroom, Auswahl und Korrekturen der Fotos: 20 min • Agisoft Photoscan, Importieren der Fotos und starten des Prozesses: 10 min 	30 Minuten
Baumstamm mit Wurzel	<ul style="list-style-type: none"> • Adobe Lightroom Auswahl und Korrekturen der Fotos: 30 min • Agisoft Photoscan, Importieren der Fotos und starten des Prozesses: 10 min 	40 Minuten
Walnuss	<ul style="list-style-type: none"> • Adobe Lightroom Auswahl und Korrekturen der Fotos: 15 min • Agisoft Photoscan, Importieren der Fotos und starten des Prozesses: 10 min 	25 Minuten

Charakter (Kopf)	<ul style="list-style-type: none">• Adobe Lightroom Auswahl und Korrekturen der Fotos: 30 min• Agisoft Photoscan, Importieren der Fotos und starten des Prozesses: 10 min	40 Minuten
------------------	--	------------

Arbeitsschritt 3: Retopologisierung des hochaufgelösten Modells

Arbeitsaufwand Modell	Arbeitsaufwand Zwischen- schritte	Gesamter Arbeits- aufwand
Waldbodentextur	<ul style="list-style-type: none"> • 3ds Max, Erstellung der Retopologie: 5 Minuten • 3ds Max, Erstellung der UV Koordinaten in 3ds Max : 2 Minuten 	7 Minuten
Baumstamm mit Wurzel	<ul style="list-style-type: none"> • 3ds Max, Erstellung der Retopologie: 40 Minuten • 3ds Max Erstellung der UV Koordinaten: 20 Minuten 	1 Stunde
Walnuss	<ul style="list-style-type: none"> • 3ds Max, Erstellung der Retopologie: 15 Minuten • 3ds Max, Erstellung der UV Koordinaten: 5 Minuten 	20 Minuten
Charakter (Kopf)	Mit den verwendeten Methoden aufgrund der sehr schlechten Rekonstruktion des hochaufgelösten Modells,nicht messbar	-(nicht messbar)-

Arbeitsschritt 4: Texturierung des retopologisierten 3D Modells

Arbeitsaufwand Modell	Arbeitsaufwand Zwischenschritte	Gesamter Arbeitsaufwand
Waldbodentextur	<ul style="list-style-type: none"> - Xnormal, Erstellen der Bakes: 5 Minuten - Photoshop, Nachbearbeitung der Texturen: 1 Stunde 	1 Stunde 5 Minuten
Baumstamm mit Wurzel	<ul style="list-style-type: none"> - Xnormal, Erstellen der Bakes: 5 Minuten - Photoshop, Nachbearbeitung der Texturen: 45 Minuten 	50 Minuten
Walnuss	<ul style="list-style-type: none"> - Xnormal, Erstellen der Bakes: 5 Minuten - Photoshop, Nachbearbeitung der Texturen: 20 Minuten 	25 Minuten
Charakter (Kopf)	Mit den verwendeten Methoden aufgrund nicht optimaler Ergebnisse enorm groß, nicht messbar	-(nicht messbar)-

Testprotokoll von Testperson 1

Anwendungen der Photogrammetrie in der Entwicklung von Videospielen

Wichtige Hinweise zur Durchführung des praktischen Test

Dieser Test soll wichtige Erkenntnisse liefern, um die Effektivität der 3D Modellierung mit Photogrammetrie Software mit der traditionellen Verfahrensweise zu vergleichen.

Als Teilnehmer dieses Tests haben Sie die Aufgabe, 3D Modelle und Texturen für Echtzeit Rendering Anwendungen zu erstellen. Die allgemeine Zielvorgabe ist dabei, ein realistisches und ästhetisch ansprechendes Ergebnis zu erhalten. Dabei ist Ihnen die konkrete Arbeitsweise weitgehend freigestellt, da alle Programme und Methoden erlaubt sind, bei denen keine Rekonstruktion des Modells aus Messdaten erfolgt (z.B. Laserscanning, Photogrammetrie). Sie sollten allerdings versuchen die Arbeitsweise so zu wählen, dass nicht nur das Ergebnis den Vorgaben entspricht, sondern auch der Zeitaufwand für die Bearbeitung möglichst gering ist. Dabei werden Sie angehalten, ihre Arbeit für die weitere Auswertung zu protokollieren. Hierfür ist eine grobe Struktur der Arbeitsschritte durch die Tabellen vorgegeben, allerdings können einzelne Arbeitsschritte auch umgangen beziehungsweise durch andere Methoden ersetzt werden. Allerdings sollte eine solche Entscheidung, anhand der übergeordneten Zielvorgabe, begründen und im Protokoll notiert werden, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten.

Qualitätsvorgaben der Endergebnisse

Im Folgenden sind die generellen Qualitätsvorgaben für die Endergebnisse definiert. Diese sollten Sie für alle Aufgaben beachten, spezifischere Anforderungen werden in der jeweiligen Aufgabe erläutert.

- Polygonales Modell
- Die Anzahl der Dreiecksflächen des Modells darf den Richtwert unterbieten, aber nur maximal um 50% übersteigen
- Modell muss UV Koordinaten besitzen
- Modell muss mit einer Diffuse und eine Normal Textur texturiert sein

Hinweise zur Protokollierung

Sie sollten bei der Protokollierung der Teilschritte bitte darauf achten, dass Sie folgende Faktoren berücksichtigen.

- Verwendetes Programm
- Beschreibung des Arbeitsschrittes
- Benötigte Zeit für diesen Arbeitsschritt

Bitte denken Sie daran, dass die zu notierende Dauer der einzelnen Aufgaben sich nur auf die manuelle Bearbeitung bezieht. Berechnungsprozesse des Computers, die länger als Drei Minuten andauern, sollen nicht protokolliert werden.

Beispielprotokoll:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	Firefox	Weitere Referenzbilder akquirieren	15 Minuten
	Photoshop	Refsheet basteln	5 Minuten
Hochaufgelöstes Modell erstellen	3ds Max	Lowpoly Basis Modell erstellen	20 Minuten
	Zbrush	Details sculpten	40 Minuten
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	In meinem Fall war es nicht notwendig zu reopologisieren, da ich mein Lowpoly Ausgangsmodell verwenden konnte	---	---

Retopologisiertes Modell texturieren	Xnormal	Normal Map und Polypaint baken	5 Minuten (nur manueller Aufwand! Keine Bake Zellen)
	Photoshop	Bakes nachbearbeiten	15 Minuten

Hinweise zur Präsentation und Abgabe der Endergebnisse

Bei der Erstellung von 3D Modellen und Texturen ist es wichtig zu wissen, welche Rendering Anwendung zur Präsentation des Endergebnisses genutzt wird. Daher ist es zwingend erforderlich, dass alle Teilnehmer Marmoset Toolbag 2.06 verwenden, um ihre Endergebnisse zu überprüfen. Da die Ergebnisse dieses Tests, in einer Umfrage miteinander verglichen werden sollen, ist es wichtig einen solchen Standard zu setzen. Ich bitte Sie daher, ihre Modelle und Texturen an dieses Echtzeit Rendering Programm anzupassen.

Eine 30 Tage lange Versuchsversion ist unter diesem Link <http://www.marmoset.co/shop/tb2> der Herstellerwebseite zu finden.

Bei der Abgabe der Endergebnisse sollen die Modelle im .obj format und die Texturen im .png, .tiff oder .tga Format abgegeben werden.

Aufgabe 1: Erstellen Sie eine Textur für einen Nadelwaldboden

Bei der ersten Aufgabe müssen Sie eine kachelbare Textur für einen Nadelwaldboden erstellen. Dafür müssen 3 Texturtypen erstellt werden:

- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Displacement Textur, Auflösung 2048x2048, 16bit pro Kanal

Ein polygonales Modell ist bei dieser Aufgabe nicht Teil des Endergebnisses, nur die in der Beschreibung aufgeführten Texturen müssen abgegeben werden. Bis auf diese Ausnahme gelten weiterhin alle anderen Hinweise zur Testdurchführung.

Bitte machen Sie vor dem Beginn der praktischen Aufgaben folgende Angaben:

Geschätzte Arbeitszeit für Aufgabe 1 (in Stunden und Minuten) :

2 h

Einschätzung der Komplexität von Aufgabe 1 (gering, mittel, hoch) :

mittel

Bitte tragen Sie die protokollierten Schritte in diese Tabelle ein:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	Firefox	Referenzbilder suchen	20 min
Hochaufgelöstes Modell erstellen	-	-	-

Hochauflöstes Modell retopologisieren	-	-	-
Retopologisiertes Modell texturieren	-	-	-
Bildbearbeitung	Photoshop	Referenzbilder zusammen fügen und tilebar machen	10 min
Normalmap und Displacement Map generieren	Crazy Bump	Generierung der Normal und Displacement Map auf Basis der Diffuse	15 min

Aufgabe 2 : Erstellen sie ein 3D Modell von einem Baumstamm mit Wurzel

In dieser Aufgabe sollen Sie einen Baumstamm mit Wurzeln in 3D modellieren und texturieren. Um die qualitative Vergleichbarkeit der verschiedenen Endergebnisse zu gewährleisten, kriegen alle Testpersonen das gleiche Referenzbild. Es ist aber erlaubt weitere Referenzbilder zu akquirieren, das vorgegebene Bild ist nur zur gestalterischen Orientierung gedacht. Das Baumstammmodell muss nur bis etwa 1,80 Meter Höhe modelliert werden, und muss eine einzigartige Texturierung besitzen.

- 3D Modelle, Richtwert für Anzahl der Dreiecksflächen 650
- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal

Referenz Bild:



Bitte machen Sie vor dem Beginn der praktischen Aufgaben folgende Angaben:

Geschätzte Arbeitszeit für Aufgabe 2 (in Stunden und Minuten) :

5 h

Einschätzung der Komplexität von Aufgabe 2 (gering, mittel, hoch) :

hoch

Bitte tragen Sie die protokollierten Schritte in diese Tabelle ein:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	Firefox	Bilder sammeln	10 min
Hochauflöstes Modell erstellen	ZBrush	Highpoly erstellen	30 min
Hochauflöstes Modell retopologisieren	ZBrush	Retopo per Zremesher	15 min
	Max	UVs erstellen	5 min
Retopologisiertes Modell texturieren	ZBrush	Texturieren und Sculpting von Details	50 min
		Diffuse Baking	5 min

Nachbearbeiten der Texturen	XNormal	Normal Baking	1 min
	Photoshop	Anpassen der Kontraste	5 min

Aufgabe 3: Erstellen sie ein 3D Modell einer Walnuss

In dieser Aufgabe sollen Sie eine Walnuss in 3D modellieren und texturieren. Um die qualitative Vergleichbarkeit der verschiedenen Endergebnisse zu gewährleisten, kriegen alle Testpersonen das gleiche Referenzbild. Es ist aber erlaubt weitere Referenzbilder zu akquirieren, denn das vorgegebene Bild ist nur zur gestalterischen Orientierung gedacht. Das Walnussmodell muss eine einzigartige Texturierung besitzen.

- 3D Modelle, Richtwert für Anzahl der Dreiecksflächen 120
- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal

Referenz Bild:



Bitte machen Sie vor dem Beginn der praktischen Aufgaben folgende Angaben:

Geschätzte Arbeitszeit für Aufgabe 3 (in Stunden und Minuten) :

1 h

Einschätzung der Komplexität von Aufgabe 3 (gering, mittel, hoch) :

gering

Bitte tragen Sie die protokollierten Schritte in diese Tabelle ein:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	Firefox	Bilder suchen	5 min
Lowpoly Modell erstellen	Max	Objekt mit grundlegender Topologie erstellen	5 min
Hochaufgelöstes Modell erstellen	ZBrush	Sculpting der Details	30 min
		Texturierung	20 min
Nachbearbeitung	ZBrush	Baking der Diffuse	5 min
	XNormal	Baking Normalmap	1 min
	Photoshop	Anpassen der Kontraste	10 min
Nach Korrektur des Richtwertes: Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	ZBrush	Retopo mittels Zremesher	15 min
		Projection und Baking Texturen	10 min
		+ Nachbearbeitung	

Aufgabe 4: Geben Sie eine detaillierte Einschätzung zum Arbeitsaufwand für ein 3D Modell eines menschlichen Kopfes

In dieser Aufgabe sollen sie lediglich eine detaillierte Einschätzung zum zeitlichen Arbeitsaufwand, für die Modellierung eines menschlichen Kopfes geben. Bitte tragen Sie dazu die einzelnen Schritte mit ihren Annahmen in die Tabelle ein.

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	Firefox	Bilder sammeln	30-45 min
	Photoshop	Refsheet erstellen	5 min
Hochaufgelöstes Modell erstellen	ZBrush	Details sculpten	3-5 h
Hochaufgelöstes Modell texturieren	ZBrush	Texturieren	ca 3 h
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	Zbrush	Retopo mittels ZRemesher	20-30 min

Texturen nachbearbeiten	ZBrush	Baking und Export der Texturen	10 min
	Photoshop	Anpassen Farben und Kontraste	ca. 30 min

Testprotokoll von Testperson 2

Anwendungen der Photogrammetrie in der Entwicklung von Videospielen

Wichtige Hinweise zur Durchführung des praktischen Test

Dieser Test soll wichtige Erkenntnisse liefern, um die Effektivität der 3D Modellierung mit Photogrammetrie Software mit der traditionellen Verfahrensweise zu vergleichen.

Als Teilnehmer dieses Tests haben Sie die Aufgabe, 3D Modelle und Texturen für Echtzeit Rendering Anwendungen zu erstellen. Die allgemeine Zielvorgabe ist dabei, ein realistisches und ästhetisch ansprechendes Ergebnis zu erhalten. Dabei ist Ihnen die konkrete Arbeitsweise weitgehend freigestellt, da alle Programme und Methoden erlaubt sind, bei denen keine Rekonstruktion des Modells aus Messdaten erfolgt (z.B. Laserscanning, Photogrammetrie). Sie sollten allerdings versuchen die Arbeitsweise so zu wählen, dass nicht nur das Ergebnis den Vorgaben entspricht, sondern auch der Zeitaufwand für die Bearbeitung möglichst gering ist. Dabei werden Sie angehalten, ihre Arbeit für die weitere Auswertung zu protokollieren. Hierfür ist eine grobe Struktur der Arbeitsschritte durch die Tabellen vorgegeben, allerdings können einzelne Arbeitsschritte auch umgangen beziehungsweise durch andere Methoden ersetzt werden. Allerdings sollte eine solche Entscheidung, anhand der übergeordneten Zielvorgabe, begründen und im Protokoll notiert werden, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten.

Qualitätsvorgaben der Endergebnisse

Im Folgenden sind die generellen Qualitätsvorgaben für die Endergebnisse definiert. Diese sollten Sie für alle Aufgaben beachten, spezifischere Anforderungen werden in der jeweiligen Aufgabe erläutert.

- Polygonales Modell
- Die Anzahl der Dreiecksflächen des Modells darf den Richtwert unterbieten, aber nur maximal um 50% übersteigen
- Modell muss UV Koordinaten besitzen
- Modell muss mit einer Diffuse und einer Normal Textur texturiert sein

Hinweise zur Protokollierung

Sie sollten bei der Protokollierung der Teilschritte bitte darauf achten, dass Sie folgende Faktoren berücksichtigen.

- Verwendetes Programm
- Beschreibung des Arbeitsschrittes
- Benötigte Zeit für diesen Arbeitsschritt

Bitte denken Sie daran, dass die zu notierende Dauer der einzelnen Aufgaben sich nur auf die manuelle Bearbeitung bezieht! Berechnungsprozesse des Computers, die länger als Drei Minuten andauern, sollen nicht protokolliert werden.

Beispielprotokoll:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	Firefox	Weitere Referenzbilder akquirieren	15 Minuten
	Photoshop	Refsheet basteln	5 Minuten

Hochaufgelöstes Modell erstellen	3ds Max	Lowpoly Basis Modell erstellen	20 Minuten
	Zbrush	Details sculpten	40 Minuten
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	In meinem Fall war es nicht notwendig zu reopologisieren, da ich mein Lowpoly Ausgangsmodell verwenden konnte	---	---
Retopologisiertes Modell texturieren	Xnormal	Normal Map und Polypaint baken	5 Minuten (nur manueller Aufwand! Keine Bake Zeiten)
	Photoshop	Bakes nachbearbeiten	15 Minuten

Hinweise zur Präsentation und Abgabe der Endergebnisse

Bei der Erstellung von 3D Modellen und Texturen ist es wichtig zu wissen, welche Rendering Anwendung zur Präsentation des Endergebnisses genutzt wird. Daher ist es zwingend erforderlich, dass alle Teilnehmer Marmoset Toolbag 2.06 verwenden, um ihre Endergebnisse zu überprüfen. Da die Ergebnisse dieses Tests, in einer Umfrage miteinander verglichen werden sollen, ist es wichtig einen solchen Standard zu setzen. Ich bitte Sie daher, ihre Modelle und Texturen an dieses Echtzeit Rendering Programm anzupassen.

Eine 30 Tage lange Versuchsversion ist unter diesem Link <http://www.marmoset.co/shop/tb2> der Herstellerwebseite zu finden.

Bei der Abgabe der Endergebnisse sollen die Modelle im .obj format und die Texturen im .png, .tiff oder .tga Format abgegeben werden.

Aufgabe 1: Erstellen Sie eine Textur für einen Nadelwaldboden

Bei der ersten Aufgabe müssen Sie eine kachelbare Textur für einen Nadelwaldboden erstellen. Dafür müssen 3 Texturtypen erstellt werden:

- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Displacement Textur, Auflösung 2048x2048, 16bit pro Kanal

Ein polygonales Modell ist bei dieser Aufgabe nicht Teil des Endergebnisses, nur die in der Beschreibung aufgeführten Texturen müssen abgegeben werden. Bis auf diese Ausnahme gelten weiterhin alle anderen Hinweise zur Testdurchführung.

Bitte machen Sie vor dem Beginn der praktischen Aufgaben folgende Angaben:

Geschätzte Arbeitszeit für Aufgabe 1 (in Stunden und Minuten) :

1 Stunde

Einschätzung der Komplexität von Aufgabe 1 (gering, mittel, hoch) :

Gering

Bitte tragen Sie die protokollierten Schritte in diese Tabelle ein:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	Browser, Internetseite: Cgtex- tures.com	Suche nach einem geeigneten Waldboden Bild auf der Seite CGTextures	10 min

	Photoshop	Ausgewählte Textur kachelbar machen	8 min
Hochaufgelöstes Modell erstellen	Photoshop	Height Map aus der Textur erstellen (Sättigung nehmen + Tonwertkorrektur)	2 min
	XNormal	Aus der Heightmap eine Normalmap generieren und Heightmap als Displacement speichern	5 min
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	-(Nicht notwendig)-	-(Nicht notwendig)-	-(Nicht notwendig)-
Retopologisiertes Modell texturieren	-(Nicht notwendig)-	-(Nicht notwendig)-	-(Nicht notwendig)-

Aufgabe 2: Erstellen sie ein 3D Modell von einem Baumstamm mit Wurzel

In dieser Aufgabe sollen Sie einen Baumstamm mit Wurzeln in 3D modellieren und texturieren. Um die qualitative Vergleichbarkeit der verschiedenen Endergebnisse zu gewährleisten, kriegen alle Testpersonen das gleiche Referenzbild. Es ist aber erlaubt weitere Referenzbilder zu akquirieren, das vorgegebene Bild ist nur zur gestalterischen Orientierung gedacht. Das Baumstammmodell muss nur bis etwa 1,80 Meter Höhe modelliert werden, und muss eine einzigartige Texturierung besitzen.

- 3D Modelle, Richtwert für Anzahl der Dreiecksflächen 650
- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal

Referenz Bild:



Bitte machen Sie vor dem Beginn der praktischen Aufgaben folgende Angaben:

Geschätzte Arbeitszeit für Aufgabe 2 (in Stunden und Minuten) :

Einschätzung der Komplexität von Aufgabe 2 (gering, mittel, hoch) :

Bitte tragen Sie die protokollierten Schritte in diese Tabelle ein:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	Browser: CG Textures.com und Google	Referenzbilder suchen und ein Sheet zusammenstellen	7 min
Hochaufgelöstes Modell erstellen	ZBrush	Mit ZSpheres Grundform erstellen und dann grob sculpten	1 Stunde
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	3Ds Max	Retopologisieren in 3DsMax	2 Stunden

Retopologisiertes Modell texturieren	XNormal	Baken der Normalmap aus dem HP	5 min
	Photoshop	Baumrindentextur bearbeiten und Heightmap aus dieser erstellen	15 min
	Crazy Bump	Aus der Height Map in Crazy Bump eine 2. Normalmap generieren	5 min
	Photoshop	Normalmaps vereinen und dann Texturen optimieren	1 Stunde

Aufgabe 3: Erstellen sie ein 3D Modell einer Walnuss

In dieser Aufgabe sollen Sie eine Walnuss in 3D modellieren und texturieren. Um die qualitative Vergleichbarkeit der verschiedenen Endergebnisse zu gewährleisten, kriegen alle Testpersonen das gleiche Referenzbild. Es ist aber erlaubt weitere Referenzbilder zu akquirieren, denn das vorgegebene Bild ist nur zur gestalterischen Orientierung gedacht. Das Walnussmodell muss eine einzigartige Texturierung besitzen.

- 3D Modelle, Richtwert für Anzahl der Dreiecksflächen 120
- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal

Referenz Bild:



Bitte machen Sie vor dem Beginn der praktischen Aufgaben folgende Angaben:

Geschätzte Arbeitszeit für Aufgabe 3 (in Stunden und Minuten) :

Einschätzung der Komplexität von Aufgabe 3 (gering, mittel, hoch) :

Bitte tragen Sie die protokollierten Schritte in diese Tabelle ein:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	PDF Reader	Vorgegebenes Foto genügt, ohne dieses hätte ich ein Foto im Internet gesucht	max. 5 min
Hochaufgelöstes Modell erstellen	ZBrush	Beginnen mit einem HP direkt in ZBrush	25 min
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	3Ds Max	Retopologisierung	7 min
Retopologisiertes Modell texturieren	ZBrush 3Ds Max XNormal Photoshop und Toolbag	Polypaint Textur Unwrappen Baken Texturanpassung und Verbesserung	10 min 5 min 2 min 15 min

Aufgabe 4: Geben Sie eine detaillierte Einschätzung zum Arbeitsaufwand für ein 3D Modell eines menschlichen Kopfes

In dieser Aufgabe sollen sie lediglich eine detaillierte Einschätzung zum zeitlichen Arbeitsaufwand, für die Modellierung eines menschlichen Kopfes geben. Bitte tragen Sie dazu die einzelnen Schritte mit ihren Annahmen in die Tabelle ein.

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	Browser Ggf. Fotos der Person schießen	Bilder suchen	10 min
Hochaufgelöstes Modell erstellen	Zbrush	HP erstellen, Basemesh von Zbrush verwenden	4 Stunden
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	3Ds Max	Retopo des Kopfes	3 Stunden
Retopologisiertes Modell texturieren	Zbrush Photoshop	Textur malen, Phototextur drauf projizieren oder Color-map erstellen Anpassung/Verbessern	2 Stunden 1 Stunde

Testprotokoll von Testperson 3

Anwendungen der Photogrammetrie in der Entwicklung von Videospielen

Wichtige Hinweise zur Durchführung des praktischen Test

Dieser Test soll wichtige Erkenntnisse liefern, um die Effektivität der 3D Modellierung mit Photogrammetrie Software mit der traditionellen Verfahrensweise zu vergleichen.

Als Teilnehmer dieses Tests haben Sie die Aufgabe, 3D Modelle und Texturen für Echtzeit Rendering Anwendungen zu erstellen. Die allgemeine Zielvorgabe ist dabei, ein realistisches und ästhetisch ansprechendes Ergebnis zu erhalten. Dabei ist Ihnen die konkrete Arbeitsweise weitgehend freigestellt, da alle Programme und Methoden erlaubt sind, bei denen keine Rekonstruktion des Modells aus Messdaten erfolgt (z.B. Laserscanning, Photogrammetrie). Sie sollten allerdings versuchen die Arbeitsweise so zu wählen, dass nicht nur das Ergebnis den Vorgaben entspricht, sondern auch der Zeitaufwand für die Bearbeitung möglichst gering ist. Dabei werden Sie angehalten, ihre Arbeit für die weitere Auswertung zu protokollieren. Hierfür ist eine grobe Struktur der Arbeitsschritte durch die Tabellen vorgegeben, allerdings können einzelne Arbeitsschritte auch umgangen beziehungsweise durch andere Methoden ersetzt werden. Allerdings sollte eine solche Entscheidung, anhand der übergeordneten Zielvorgabe, begründen und im Protokoll notiert werden, um die Nachvollziehbarkeit zu gewährleisten.

Qualitätsvorgaben der Endergebnisse

Im Folgenden sind die generellen Qualitätsvorgaben für die Endergebnisse definiert. Diese sollten Sie für alle Aufgaben beachten, spezifischere Anforderungen werden in der jeweiligen Aufgabe erläutert.

- Polygonales Modell
- Die Anzahl der Dreiecksflächen des Modells darf den Richtwert unterbieten, aber nur maximal um 50% übersteigen
- Modell muss UV Koordinaten besitzen
- Modell muss mit eine Diffuse und eine Normal Textur texturiert sein

Hinweise zur Protokollierung

Sie sollten bei der Protokollierung der Teilschritte bitte darauf achten, dass Sie folgende Faktoren berücksichtigen.

- Verwendetes Programm
- Beschreibung des Arbeitsschrittes
- Benötigte Zeit für diesen Arbeitsschritt

Bitte denken Sie daran, dass die zu notierende Dauer der einzelnen Aufgaben sich nur auf die manuelle Bearbeitung bezieht! Berechnungsprozesse des Computers, die länger als Drei Minuten andauern, sollen nicht protokolliert werden.

Beispielprotokoll:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
----------------	----------------------	-----------------------------------	----------------

Referenzbilder akquirieren	Firefox	Weitere Referenzbilder akquirieren	15 Minuten
	Photoshop	Refsheet basteln	5 Minuten
Hochaufgelöstes Modell erstellen	3ds Max	Lowpoly Basis Modell erstellen	20 Minuten
	Zbrush	Details sculpten	40 Minuten
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	In meinem Fall war es nicht notwendig zu reopologisieren, da ich mein Lowpoly Ausgangsmodell verwenden konnte	---	---
Retopologisiertes Modell texturieren	Xnormal	Normal Map und Polypaint baken	5 Minuten (nur manueller Aufwand! Keine Bake Zeiten)
	Photoshop	Bakes nachbearbeiten	15 Minuten

Hinweise zur Präsentation und Abgabe der Endergebnisse

Bei der Erstellung von 3D Modellen und Texturen ist es wichtig zu wissen, welche Rendering Anwendung zur Präsentation des Endergebnisses genutzt wird. Daher ist es zwingend erforderlich, dass alle Teilnehmer Marmoset Toolbag 2.06 verwenden, um ihre Endergebnisse zu überprüfen. Da die Ergebnisse dieses Tests, in einer Umfrage miteinander verglichen werden sollen, ist es wichtig einen solchen Standard zu setzen.

Ich bitte Sie daher, ihre Modelle und Texturen an dieses Echtzeit Rendering Programm anzupassen.

Eine 30 Tage lange Versuchsversion ist unter diesem Link <http://www.marmoset.co/shop/tb2> der Herstellerwebseite zu finden.

Bei der Abgabe der Endergebnisse sollen die Modelle im .obj format und die Texturen im .png, .tiff oder .tga Format abgegeben werden.

Aufgabe 1: Erstellen Sie eine Textur für einen Nadelwaldboden

Bei der ersten Aufgabe müssen Sie eine kachelbare Textur für einen Nadelwaldboden erstellen. Dafür müssen 3 Texturtypen erstellt werden:

- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Displacement Textur, Auflösung 2048x2048, 16bit pro Kanal

Ein polygonales Modell ist bei dieser Aufgabe nicht Teil des Endergebnisses, nur die in der Beschreibung aufgeführten Texturen müssen abgegeben werden. Bis auf diese Ausnahme gelten weiterhin alle anderen Hinweise zur Testdurchführung.

Bitte machen Sie vor dem Beginn der praktischen Aufgaben folgende Angaben:

Geschätzte Arbeitszeit für Aufgabe 1 (in Stunden und Minuten) :

Einschätzung der Komplexität von Aufgabe 1 (gering, mittel, hoch) :

Bitte tragen Sie die protokollierten Schritte in diese Tabelle ein:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	- cgtextures.com	Suche der Photos für die weitere Bearbeitung	10 Minuten

Hochaufgelöstes Modell erstellen	-nicht notwendig da ich nur photoshop und crazybump verwenden werde	-	-
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	-nicht notwendig da ich nur photoshop und crazybump verwenden werde	-	-
Retopologisiertes Modell texturieren	-Photoshop	Erstellen der Albedo und Height Textur	45 Minuten
	-Crazybump	Erstellen der Normal Textur	2 min

Aufgabe 2: Erstellen sie ein 3D Modell von einem Baumstamm mit Wurzel

In dieser Aufgabe sollen Sie einen Baumstamm mit Wurzeln in 3D modellieren und texturieren. Um die qualitative Vergleichbarkeit der verschiedenen Endergebnisse zu gewährleisten, kriegen alle Testpersonen das gleiche Referenzbild. Es ist aber erlaubt weitere Referenzbilder zu akquirieren, das vorgegebene Bild ist nur zur gestalterischen Orientierung gedacht. Das Baumstammmodell muss nur bis etwa 1,80 Meter Höhe modelliert werden, und muss eine einzigartige Texturierung besitzen.

- 3D Modelle, Richtwert für Anzahl der Dreiecksflächen 650
- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal

Referenz Bild:



Bitte machen Sie vor dem Beginn der praktischen Aufgaben folgende Angaben:

Geschätzte Arbeitszeit für Aufgabe 2 (in Stunden und Minuten) :

Einschätzung der Komplexität von Aufgabe 2 (gering, mittel, hoch) :

Bitte tragen Sie die protokollierten Schritte in diese Tabelle ein:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	-cgtextures.com und andere websites	-Suche nach passenden Photos für die Textur der Baumstammrinde	40 Minuten
Hochaufgelöstes Modell erstellen	-3ds Max	-Erstellung des Low Poly Basis Modell mit UV Koordinaten	35 Minuten
	-Mudbox	-Texture Painting und Sculpting	40 Minuten
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	-nicht notwendig		

Retopologisiertes Modell texturieren	-Photoshop	-Erstellung der Kachelbaren Textur für das Texture Painting in Mudbox, Erstellung einer Height Map zur Normal Map Generierung in Crazybump	- 25 Minuten
	-Crazybump	-Erstellung der Normal Map	3 Minuten

Aufgabe 3: Erstellen sie ein 3D Modell einer Walnuss

In dieser Aufgabe sollen Sie eine Walnuss in 3D modellieren und texturieren. Um die qualitative Vergleichbarkeit der verschiedenen Endergebnisse zu gewährleisten, kriegen alle Testpersonen das gleiche Referenzbild. Es ist aber erlaubt weitere Referenzbilder zu akquirieren, denn das vorgegebene Bild ist nur zur gestalterischen Orientierung gedacht. Das Walnussmodell muss eine einzigartige Texturierung besitzen.

- 3D Modelle, Richtwert für Anzahl der Dreiecksflächen 120
- Albedo Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal
- Normal Textur, Auflösung 2048x2048, 8bit pro Kanal

Referenz Bild:



Bitte machen Sie vor dem Beginn der praktischen Aufgaben folgende Angaben:

Geschätzte Arbeitszeit für Aufgabe 3 (in Stunden und Minuten) :

Einschätzung der Komplexität von Aufgabe 3 (gering, mittel, hoch) :

Bitte tragen Sie die protokollierten Schritte in diese Tabelle ein:

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	-keine weiteren Referenzbilder benötigt	-	-
Hochaufgelöstes Modell erstellen	3ds Max	Basismodell erstellen	25 min
	Zbrush	Details sculpten	10 min
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	Nicht notwendig da Basismodell weiterverwendet werden kann	-	-

Retopologisiertes Modell texturieren	Photoshop	Diffuse Textur erstellen	40 min
---	-----------	--------------------------	--------

Aufgabe 4: Geben Sie eine detaillierte Einschätzung zum Arbeitsaufwand für ein 3D Modell eines menschlichen Kopfes

In dieser Aufgabe sollen sie lediglich eine detaillierte Einschätzung zum zeitlichen Arbeitsaufwand, für die Modellierung eines menschlichen Kopfes geben. Bitte tragen Sie dazu die einzelnen Schritte mit ihren Annahmen in die Tabelle ein.

Arbeitsschritt	Verwendetes Programm	Beschreibung des Arbeitsschrittes	Benötigte Zeit
Referenzbilder akquirieren	-cgtextures.com, google images.com	-Referenzbilder suchen	-30 Minuten
Hochaufgelöstes Modell erstellen	-Zbrush	-Sculpting des Modells	-5 Stunden
Hochaufgelöstes Modell retopologisieren	-Zbrush	-Retopologie direkt in Zbrush	-30 Minuten
	-3dsMax	-UV Koordinaten für retopologisiertes Modell erstellen und Hairstrips modellieren	-1 Stunde
Retopologisiertes Modell texturieren	-Xnormal	-Unterschiedliche Maps vom High Poly baken Erstellung der	-10 Minuten
	-Photoshop	-Erstellung der unterschiedlichen Texture Maps	-1 1/2 Stunden

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Vorname Nachname